

Analisis Tingkat Kehilangan Air dan Model Penanganan Rembesan di Saluran Irigasi Bendungan Batu Bulan - Didin Najimuddin *by disertasi ft*

Submission date: 02-Jun-2025 09:39AM (UTC+0700)

Submission ID: 2690147047

File name: DIDIN_-_KOMPILASI.pdf (1.6M)

Word count: 27551

Character count: 161306

*Analisis Tingkat Kehilangan Air dan Model Penanganan Rembesan di Saluran
Irigasi Bendungan Batu Bulan*



Oleh:

Didin Najimuddin
10202100015

Disetujui Untuk Diajukan dalam:
Sidang Terbuka Disertasi Hari/Tanggal: Kamis, 24 April 2025

Promotor

Prof. Dr. Ir. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko – Promotor

Dr. Ir. Soedarsono, M.Si.

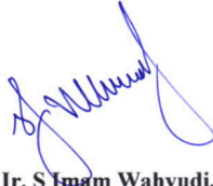
PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2025

LEMBAR PENGUJI

Sidang Terbuka

Hari : Kamis, 24 April 2025

Promotor :



Prof. Dr. Ir. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko-Promotor :



Dr. Ir. Soedarsono, M.Si.

Penguji Eksternal :



Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, M.T.

Penguji Internal :



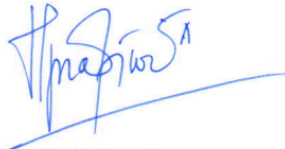
Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D.

Penguji Internal :



Dr. Abdul Rochim. S.T., M.T.

Penguji Internal:



Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T.

Penguji Internal :



Ir. Moh. Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D.

**ANALISIS TINGKAT KEHILANGAN AIR DAN MODEL PENANGANAN
REMBESAN DI SALURAN IRIGASI
(Studi Kasus Daerah Irigasi Bendungan Batu Bulan)**

DISERTASI



**DIDIN NAJIMUDDIN
NIM :10202100015**

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS TINGKAT KEHILANGAN AIR DAN MODEL PENANGANAN
REMBESAN DI SALURAN IRIGASI
(Studi Kasus Daerah Irigasi Bendungan Batu Bulan)**



Oleh:

Didin Najimuddin

10202100015

Disetujui Untuk Diajukan Sidang dalam:

Sidang Ujian Hari/Tanggal:.....,

Promotor:

Prof. Dr. Ir. H.S. Imam Wahyudi,DEA.

Ko-Promotor:

Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ
الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlul kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Diantara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Qs-Al-Imron110)

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ
فِيهِ تُسِيمُونَ

Artinya: Dan diantara yang telah menurunkan air hujan dari langit untuk kamu sebagian nya menjadi minuman dan sebagiannya menyuburkan tumbuhan padanya kamu mengembalikan ternakmu (QS An-Nahl ayat 10)

"Tidakkah kamu melihat bahwa Allah mengarahkan awan kemudian mengumpulkan antara (bagian-bagian) Nya kemudian menjadikannya bertindih-tindih maka kelihatanlah olehmu hujan keluar dari celah-celahnya dan Allah (juga) menurunkan (butiran-butiran) es dari langit (yaitu) dari gumpalan-gumpalan awan seperti gunung-gunung maka ditimpakannya (butiran-butiran) es itu kepada siapa yang dikehendaki Nya dan dipalingkannya dari siapa yang dikehendaki Nya. Kilauan kilat awan itu hampir-hampir menghilangkan penglihatan." (An Nuur, ayat 43)

PERSEMBAHAN

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas limpahan Taufik, Rahmat dan HidayahNya. Sholawat dan Salam kepada Junjungan Nabi Muhammad SAW.

Terimakasih kepada orang tua ku H.Abdul Majid (Alm) dan Hj.Bse (alm) yang selalu mendoakan anaknya supaya sukses

Terima kasih kepada istriku yang tercinta ibu Sriwati,SP. yang selalu memotivasi siang malam dalam menegrjakan desrtasi

Terima kasih kepada anak-anakku 1. Muhammad Najril Alsasaqy Adekutari 2. Najwa Salsabila Naqiyah 3. Muhammad Nadhif Ramadhan yang selalu menanyakan kepada bapaknya agar cepat selesai kuliah karena pingin lihat kota Semarang

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen atas bimbingan selama kuliah.

ABSTRAK

Rembesan pada struktur bendung merupakan salah satu tantangan utama dalam rekayasa hidroteknik, yang dapat mempengaruhi stabilitas dan daya tahan bangunan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengurangi rembesan adalah stabilisasi tanah menggunakan kapur. Namun, variasi kadar kapur yang tepat masih menjadi perdebatan dalam penelitian sebelumnya. Kerusakan pada saluran bendungan batu bulan serta tingginya tingkat rembesan yang menyebabkan sekitar 24% dari air irigasi hilang sebelum mencapai lahan pertanian. Kehilangan air ini secara langsung berdampak pada efisiensi irigasi di mana hubungan antara efisiensi dan kehilangan air bersifat berbanding terbalik. Saluran irigasi mengalami kerusakan fisik seperti kebocoran dan rembesan akibat kurangnya pemeliharaan. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah pengukuran debit air menggunakan *current meter*, uji laboratorium tanah asli untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah, uji tanah variasi kapur 4%, 6%, 8%, 10%, 12% dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak SEEP/W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan air yang signifikan terjadi di seluruh blok saluran dengan debit rembesan terbesar tercatat di Blok 3 sebesar 1,476 m³/dtk. Efisiensi saluran bervariasi, dengan rata-rata sebesar 78,78%, di mana Blok 1 memiliki efisiensi tertinggi sebesar 87,5% dan Blok 6 memiliki efisiensi terendah sebesar 78,75%. Koefisien permeabilitas tanah rata-rata terbesar pada campuran kapur 4% sebesar 0,003920 cm/menit dan yang terkecil pada campuran kapur 12% sebesar 0,001460 cm/menit. Debit rembesan dengan program SEEP-W terbesar pada campuran kapur 8% sebesar 0,2046 terkecil terjadi pada campuran kapur 12% sebesar 0,0136%. Perbaikan infrastruktur fisik saluran irigasi dengan stabilisasi tanah menggunakan kapur dapat mengurangi rembesan.

Kata kunci: Kehilangan air, Efisiensi, Permeabilitas dan Rembesan

ABSTRACT

Leakage in the dam structure is one of the main challenges in hydraulic engineering, which can affect the stability and durability of the structure. One common method used to reduce leakage is soil stabilization with lime. However, the exact lime content variation is still a topic of debate in previous studies.

Damage to the Batu Bulan dam channel and the high seepage levels have caused approximately 24% of the irrigation water to be lost before it reaches agricultural fields. This water loss directly impacts irrigation efficiency, where the relationship between efficiency and water loss is inversely proportional. The irrigation channels experience physical damage, such as leaks and seepage, due to lack of maintenance.

The methodology used in this study includes measuring water discharge using a current meter, laboratory tests on native soil to determine the permeability coefficient, tests on soil with variations of 4% lime, 6% lime, 8% lime, 10% lime, and 12% lime, as well as numerical simulations using the SEEP/W software.

The study results indicate significant water loss throughout all channel blocks, with the largest seepage discharge recorded in Block 3 at 1.476 m³/s. The channel efficiency varies, with an average of 78.78%, where Block 1 has the highest efficiency at 87.5% and Block 6 has the lowest at 78.75%. The highest average soil permeability coefficient is found in the 4% lime mixture, at 0.003920 cm/min, and the smallest soil permeability coefficient is found in the 12% lime mixture, at 0.001460 cm/min. The largest seepage discharge using the SEEP-W program occurred in the 8% lime mixture, at 0.2046, while the smallest seepage discharge occurred in the 12% lime mixture, at 0.0136%. Improvement of the irrigation channel's physical infrastructure by stabilizing the soil with lime can reduce seepage.

Keywords: Water loss, Efficiency, Permeability, and Seepage.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas rahmat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian disertasi ini dengan judul ” Analisis Tingkat Kehilangan Air Dan Model Penanganan Rembesan Di saluran Irigasi (Studi kasus Bendungan Batu Bulan)”. Penelitian disertasi ini disusun sebagai bahan ujian terbuka dan salah satu persyaratan untuk mencapai gelar doktor teknik sipil pada Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Dalam kesempatan ini, penulis berterimakasih yang sebesar-besarnya terutama kepada yang terhormat Bapak/Ibu :

1. Prof Dr Gunarto SH MH, selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
2. Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang sekaligus sebagai penguji atas saran dalam penyempurnaan penelitian ini
3. Prof.Dr.Ir. Imam Wahyudi ,DEA, selaku Ketua Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sulatan Agung Semarang sekaligus sebagai promotor dan penguji atas bimbingan, dukungan serta motivasi dan kesabarannya membantu penulis menyelesaikan penelitian ini
4. Prof.Ir,H. Pratikso,MST.,Ph.D selaku Sekretaris Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang sekaligus sebagai penguji atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini
5. Dr.Ir.H.Soedarsono M.Si sebagai Co-Promotor dan penguji atas bimbingan, dukungan serta motivasi dan kesabarannya dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian ini
6. Prof.Dr.Ir Muhlisin sebagai penguji eksternal atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini
7. Prof.Dr.Ir.Henny Pratiwi Adi ST.,MT sebagai penguji internal atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini
8. Dr.Syaiful ST.,MT sebagai penguji internal atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini
9. Para dosen yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama mengikuti Pendidikan Doktor Teknik Sipil pada program Universitas Islam Sultan Agung Semarang
10. Staf pegawai serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya ujian sidang terbuka ini

Penulis telah berupaya untuk menyelesaikan penelitian disertasi ini dengan maksimal namun demikian penulis yakin masih terdapat banyak kekurangan yang perlu di sempurnakan oleh karena

itu penulis memohon petunjuk, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini menjadi lebih baik.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan masyarakat banyak

Semarang, 14 Februari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.
BAB1 PENDAHULUAN	5
1.1 Latar Belakang Masalah	5
2.1 Identifikasi Masalah	7
1.3 Perumusan Masalah.....	7
1.4 Maksud Dan Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
1.6 Batasan Masalah.....	8
1.7 Originalitas Dan Pembaharuan.....	9
1.8 Sistematika Penulisan	9
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	11
2.1 Teori umum kehilangan air.....	11
2.2 Daerah Aliran Sungai.....	14
2.2.1. Pengertian Sungai.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Hidrologi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3. Analisa Ketersediaan Air.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.4. Analisa Kebutuhan Air Irigasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Kebutuhan air Irigasi (KAI).....	Error! Bookmark not defined.

2.2.6 Aliran Air Tanah.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.7 Estimasi rembesan.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.8. Koefisien Rembesan	Error! Bookmark not defined.
2.2.9 Devinisi Kehilangan Air.....	26
2.2.10 Evisiensi Saluran	29
2.2.11. Penelitian Terdahulu	Error! Bookmark not defined.
BABA III METODE PENELITIAN	54
3.1 Lokasi dan waktu penelitian	54
3.2 Metode pengumpulan data penelitian	54
3.3 Prosedur Alat dan Bahan Penelitian	55
3.3.1. Pengukuran kecepatan aliran.	Error! Bookmark not defined.
3.3.2. Pelaksanaan penelitian aliran rembesan pada saluran	55
3.4 Metode analisis	57
3.4.1. Analisis tingkat kehilangan air (efisiensi) pada saluran.....	57
3.4.2. Pengukuran Debit.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.3. Mencari efisiensi tiap segmen pada saluran irigasi.....	58
3.5 Bagan Alir Penelitian.....	60
BAB IV ANALISIS DATA DAN HASIL ANALISIS	61
4.1 Paparan Data Hasil Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.1 Diskripsi umum Bendungan Batu Bulan.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Data Teknis Bendungan Batu Bulan.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3 Sekema Jaringan Irigasi Bendungan Batu Bulan Kiri.....	61
4.2 Data Lapangan Dan Eksperimen Laboratorium.....	64
4.2.1. Data Pengukuran Kecepatan Aliran.....	64
4.2.2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah Asli.....	65

4.2.3. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 4%.....	66
4.3 Prosedur simulasi program SEEP/W	Error! Bookmark not defined.
4.3.1. Bagan Alir Analisis Program SEEP/W	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Permodelan dan Sifat Material pada SEEP/W.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.3 Tahapan Analisa pada Proram SEEP/.....	67
4.4 Tipe Analisis	Error! Bookmark not defined.
4.4.1. Analisis Steady State.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.2. Analisis Transien	Error! Bookmark not defined.
BAB V PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN.....	73
5.1 Perhitungan Analisis Kehilangan Debit Air Saluran Irigasi Bendungan Batu Bulan.....	73
5.1.1 Perhitungan Blok ke-1	73
5.1.2 Perhitungan Blok ke-2	Error! Bookmark not defined.
5.1.3 Perhitungan Blok ke-3	Error! Bookmark not defined.
5.1.4 Perhitungan Blok ke-4	Error! Bookmark not defined.
5.1.5 Perhitungan Blok ke-5	Error! Bookmark not defined.
5.1.6 Perhitungan Blok ke-6	Error! Bookmark not defined.
5.1.7 Perhitungan Blok ke-7	Error! Bookmark not defined.
5.2 Analisis Efisiensi Saluran Irigasi Bendungan Batubulan Kiri.....	83

5.2.1 Kehilangan	air	blok	ke-1
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.2 Kehilangan	air	blok	ke-2
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.3 Kehilangan	air	blok	ke-3
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.4 Kehilangan	air	blok	ke-4
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.5 Kehilangan	air	blok	ke-5
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.6 Kehilangan	air	blok	ke-6
..... Error! Bookmark not defined.			
5.2.7 Kehilangan	air	blok	ke-
..... Error! Bookmark not defined.			
5.3 Perhitungan Uji Permeabilitas Tanah			87
5.3.1 Uji permeabilitas tanah variasi kapur 6 %			87
5.3.2. Uji permeabilitas tanah variasi kapur 8 %			88
5.3.3 Uji permeabilitas tanah variasi kapur 10 %			90
5.3.4. Uji permeabilitas tanah variasi kapur 12 %			91
5.4. Perhitungan Manual Rembesan saluran irigasi pada kondisi tanah asli			95
5.4.1. Debit Rembesan muka air banjir blok 1			Error! Bookmark not defined.
5.4.2. Debit Rembesan muka air banjir blok 2			Error! Bookmark not defined.
5.4.3. Debit Rembesan muka air banjir blok 3			Error! Bookmark not defined.
5.4.4. Debit Rembesan muka air banjir blok 4			97
5.4.5. Debit Rembesan muka air banjir blok 5			98
5.4.6. Debit Rembesan muka air banjir blok 6			Error! Bookmark not defined.
5.4.7. Debit Rembesan muka air banjir blok 7			Error! Bookmark not defined.

5.4.8. Perhitungan Manual Rembesan saluran irigasi pada kondisi tanah variasi kapur	99
5.4.9. Simulasi model rembesan saluran irigasi tanah variasi menggunakan program seep/w ...	103
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPRAN-LAMPIRAN.....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran air tanah	26
Gambar 3.1 Gambar lokasi penelitian.....	49
Gambar 3.2 Tahapan penelitian.....	55
Gambar 4.1 Skema jaringan irigasi bendungan batu bulan.....	59
Gambar 4.2 Bagan alir penelitian.....	63
Gambar 4.3 Input data dari <i>input regiao</i>	65
Gambar 4.4 <i>Drou</i> material tanah dan beton.....	65
Gambar 4.5 Arsiran tanh dan material beton.....	66
Gambar 4.6 <i>Drou baundari condicion</i>	66
Gambar 4.7 Garis darainasi, <i>seropresurure</i>	67
Gambar 4.8 Gambar saluran arah rembesan	67
Gambar 4.9 Gambar saluran irigasi program seep-w	68
Gambar 4.10 Tanda X merah arah rembesan.....	68
Gamabar 5.1 Luas penampangbasah Blok ke 1	75
Gambar 5.2 Skema jaringan irigasi bendungan batu bulan	77
Gamabar 5.3 Luas penampang basah Blok ke 2	79
Gamabar 5.4 Luas penampang basah Blok ke 3	81
Gamabar 5.5 Luas penampang basah Blok ke 4	83
Gamabar 5.6 Luas penampang basah Blok ke 5	85
Gamabar 5.7 Luas penampangbasah Blok ke 6	87

Gamabar 5.8 Luas penampang basah Blok ke 7	89
Gambar 5.9 Grafik hubungan nilai koefisien permeabilitas tanah dan variasi kapur.....	104
Gambar 5.10 Arah rembesan pasangan batu kali	121

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian terdahulu sebagai pembanding	35
Tabel 4.1 Hasil perhitungan debit blok1	60
Tabel 4.2 Koefisien permeabilitas tanah asli.....	61
Tabel 4.3 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 4%.....	62
Tabel 5.1 Luas penampang basah blok 1	74
Tabel 5.2 Luas penampang basah blok 2	78
Tabel 5.3 Luas penampang basah blok 3	80
Tabel 5.4 Luas penampang basah blok 4	82
Tabel 5.5 Luas penampang basah blok 5	84
Tabel 5.6 Luas penampang basah blok 6	86
Tabel 5.7 Luas penampang basah blok 7	88
Tabel 5.8 Perhitungan efisiensi kehilangan air	93
Tabel 5.9 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 4%.....	94
Tabel 5.10 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 6%.....	96
Tabel 5.11 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 8%.....	98
Tabel 5.12 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 10%.....	100
Tabel 5.13 Koefisien permeabilitas tanah variasi kapur 12%.....	102
Tabel 5.14 Koefisien permeabilitas (k)	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kecepatan aliran dengan <i>curen</i> meter.....	118
Lampiran 2 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 2.....	120
Lampiran 3 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 3.....	121
Lampiran 4 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 4.....	122
Lampiran 5 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 5.....	123
Lampiran 6 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 6.....	124
Lampiran 7 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 7.....	125
Lampiran 8. Tabel koefisien permeabilitas dengan kondisi tanah+kapur.....	128
Lampiran 9 Uji permeabilitas tanah laboratorium.....	131

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Bendungan Batu Bulan merupakan bendungan terbesar ke dua di Nusa Tenggara Barat. Bendungan ini terletak di Kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat sekitar 18 km sebelah tenggara Kabupaten Sumbawa Besar. Bendungan Batu Bulan secara geografis terletak pada 1170 28' 43" BT dan 8036'34" LS. Air yang masuk ke bendungan berasal dari sungai Lito dan sungai Sebasang dengan daerah tangkapan sebesar 194 km² dengan daerah genangan 640 ha. Kapasitas total bendungan sebesar 54 juta m³ terdiri dari 49 juta m³ tampungan hidup dan 5 juta m³ tampungan mati. Jaringan irigasi Batu Bulan tersebar di 3 (tiga) wilayah Kecamatan yaitu Kecamatan Moyo Hulu, Kecamatan Moyo Hilir dan Kecamatan Lape-Lopok. Jaringan irigasi Batu Bulan melayani daerah irigasi seluas 5.576 ha yang terletak di 4 (empat) daerah irigasi yaitu : Daerah Irigasi Batu Bulan Kanan seluas 1.508 ha, Daerah Irigasi Batu Bulan Kiri seluas 1.566 ha, Daerah Irigasi Moyo Kanan seluas 973 ha, dan Daerah Irigasi Moyo Kiri seluas 1.529 ha (Bunganaen, W.,2011). Pembangunan bendungan Batu Bulan beserta jaringannya bertujuan untuk memperluas areal pertanian beririgasi dan meningkatkan intensitas tanam dengan pola tanam minimal Padi-Palawija-Palawija. Debit air yang tersedia saat ini di Bendungan Batu Bulan elevasi ketinggiannya 57,78 dengan elevasi minimal 52 meter. Namun beberapa tahun terakhir ini, bendungan Batu Bulan hanya melayani kebutuhan air irigasi untuk dua musim tanam.

Saluran pasangan batu kali jaringan irigasi moyo kiri dengan panjang 15 km mengalami kerusakan sebesar 24% (Bunganaen, W.,2011). Akibat dengan kondisi tersebut terjadinya kehilangan air sehingga mengurangi suplai air pada lahan pertanian hususnya tanaman padi. Kehilangan air yang terjadi erat hubungannya dengan efisiensi. Bila angka kehilangan air naik maka efisiensi akan turun dan begitu pula sebaliknya. Efisiensi irigasi menunjukkan angka daya guna pemakaian

air yaitu merupakan perbandingan antara jumlah air yang digunakan dengan jumlah air yang diberikan. Kehilangan air secara berlebihan perlu dicegah dengan cara peningkatan saluran menjadi permanen dan pengontrol operasional sehingga debit ketersediaan dapat dimanfaatkan secara maksimal bagi peningkatan produksi pertanian dan taraf hidup petani

Berbagai metode telah diterapkan dalam penelitian sebelumnya untuk mengatasi rembesan pada bendungan. Salah satunya adalah penggunaan dinding halang, yang dibuat dengan memasukkan beton plastis atau bentonit ke dalam tubuh bendungan untuk mengurangi permeabilitas dan mengendalikan aliran rembesan. Selain itu, curtain grouting, yaitu metode penyuntikan material grouting ke dalam fondasi bendungan, telah digunakan untuk mengisi retakan dan pori-pori tanah guna mengurangi laju rembesan. Metode lain yang diterapkan adalah upstream *blanket*, yakni lapisan material kedap air yang ditempatkan di hulu bendungan untuk menurunkan tekanan hidrostatik dan mengurangi rembesan melalui tubuh bendungan. Penerapan filter pada tubuh bendungan juga berperan penting dalam mengendalikan aliran rembesan serta mencegah erosi internal yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur (Salmasi, 2020)

Dalam upaya meningkatkan stabilitas dan mengurangi rembesan, stabilisasi tanah menggunakan kapur menjadi salah satu metode yang efektif. Kapur, terutama dalam bentuk kapur tohor (CaO) atau kapur padam [Ca(OH)_2], berfungsi mengurangi plastisitas tanah dan meningkatkan daya dukungnya. Penambahan kapur pada tanah lempung menurunkan indeks plastisitas, meningkatkan batas plastis, serta mengurangi batas cair tanah, sehingga tanah menjadi lebih stabil dan kurang rentan terhadap rembesan. Reaksi kimia antara kapur dan mineral lempung menghasilkan senyawa seperti kalsium silikat hidrat yang mengikat partikel tanah, membentuk struktur yang lebih padat dan kedap air (wicaksono, 2014)

Sebagian besar saluran irigasi Bendungan Batu Bulan telah menggunakan pasangan batu kali, khususnya pada saluran primer, sekunder, dan tersier. Namun, kehilangan air akibat rembesan tetap menjadi tantangan utama. Besarnya kehilangan air selain dipengaruhi oleh musim, jenis tanah, dan panjang saluran, juga sangat

bergantung pada karakteristik fisik dan hidrologis saluran. Pendugaan kehilangan air yang akurat sangat penting dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan air

Saluran irigasi bendungan batu bulan mengalami beberapa kerusakan seperti rusaknya tubuh saluran akibat erosi tebing, tanaman liar pada saluran akibat kurangnya pemeliharaan dan terdapat beberapa saluran yang tidak difungsikan untuk mengaliri lahan sesuai luas pengaliran rencana inilah sehingga peneliti ingin mengevaluasi kinerja jaringan irigasi agar sesuai rencana selama masa pengoperasian. Aspek pemanfaatannya dengan adanya jaringan irigasi dapat memberikan kecakupan air untuk memenuhi kebutuhan petani sekitar dengan melihat efisiensi penyaluran air ke lahan pertanian, aspek operasi dan pemeliharaan dinilai lancar dengan kegiatan pemerintah atau kelompok pengelolaan dan pemeliharaan sarana saluran irigasi yaitu P3A (Perkumpulan Petani Pemakai Air). Berdasarkan dari uraian diatas, maka penelitian dengan judul *Analisis Tingkat Kehilangan Air Dan Model Penanganan Rembesan Di saluran Irigasi (Studi Kasus Daerah irigasi Bendungan Batu Bulan)* sangat penting diteliti khususnya Kabupaten Sumbawa

1.2. Identifikasi Masalah

Dari permasalahan yang dihadapi di Kabupaten Sumbawa dapat diidentifikasi masalahnya adanya potensi kehilangan air, adanya permasalahan dalam menggunakan air seperti pemakaian air secara terus menerus sehingga terjadinya rembesan.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka peneliti mengangkat permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1 Berapa besar kehilangan air pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan?
- 2 Berapa besar efisiensi kebutuhan air pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan?
- 3 Bagaimana kondisi permeabilitas tanah asli dan campuran tanah ditambah kapur 4%,6%,8%,10% dan 12% di saluran irigasi Bendungan Batu Bulan?

- 4 Bagaimana model model SEEP/W mengatasi rembesan pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan?

1.4 Maksud Dan Tujuan Penelitian

- 1 Mengukur besar kehilangan air pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan.
- 2 Menganalisis efisiensi saluran irigasi Bendungan Batu Bulan.
- 3 Membandingkan nilai permeabilitas tanah asli dan campuran tanah+kapur 4%,6%,8%,10% dan 12% pada saluran irigasi Bendungan Batu Bulan.
- 4 Membuat simulasi model mengatasi rembesan pada Daerah Irigasi Bendungan Batu Bulan Dengan Uji Numerik.

1.5 Manfaat Penelitian

Karena adanya batasan masalah penelitian khusus di Kabupaten Sumbawa, maka analisis hasil penelitian ini hanya dapat digunakan pada daerah tersebut. Hasil analisis ini juga dapat digunakan pada daerah lain khususnya yang menjadi masalah serupa. Selain itu manfaat penelitian adalah :

1. Mengurangi tingkat rembesan saluran irigasi Bendungan Batu Bulan
2. Mendapatkan sistem pembagian air pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan
3. Mendapatkan model SEEP/W jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan untuk mengatasi rembesan?

1.6 Batasan Masalah

Beberapa hal yang diperlukan untuk pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan
2. Pengujian data permeabilitas tanah dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Mataram
3. Analisis sistem pembagian air dilakukan pada areal persawahan jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan

4. Pengujian kehilangan air akibat rembesan dilakukan pada jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan

1.7 Originalitas Dan Pembaharuan

1 Originalitas

Swamee PK,dkk, 2020. Mendapatkan hasil perbandingan rembesan dengan hubungan empiris menunjukkan bahwa nilai estimasi rembesan dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,373 lebih baik dari yang lain. Hubungan regresi linier dan non linier memberikan kecocokan yang cocok untuk estimasi debit rembesan sebesar 0,926. Riset ini belum menghitung tingkat rembesan dari berbagai kondisi tanah pada saluran khususnya dengan penambahan kapur untuk mengurangi rembesan.

2. Pembaharuan

Membuat model penanganan rembesan pada penampang saluran pasangan batu kali dengan memperhitungkan kondisi tanah ditambah kapur untuk mengurangi tingkat rembesan pada saluran

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan akan memperjelas proses penelitian, Langkah- langkah penelitian disusun secara sistematis untuk memudahkan langkah penelitian baik yang bersifat literatur sampai analisis data. Penelitian ini dilakukan secara bertahap yang disusun sebagai tema penelitian yaitu sebagai berikut :

BAB I. Pendahuluan, terdiri atas latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, originalitas penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II. Kajian Pustaka, berisi tentang kehilangan air, pengertian sungai, rembesan, efisiensi, siklus hidrologi, kebutuhan air, pengertian irigasi, kerangka pikir, kapur, SEEP-W dan penelitian terdahulu.

BAB III. Metode Penelitian, berisi tentang rencana penelitian, waktu, dan tempat penelitian, populasi dan sampel, variabel penelitian, metode

pengumpulan data, instrumen penelitian, teknik analisis data dan bagan alir penelitian.

BAB IV. Analisis Data dan Hasil Analisis

Analisis data kecepatan aliran, analisis data kehilangan air, analisis data koefisien permeabilitas tanah asli, analisis data kehilangan air, analisis data koefisien permeabilitas tanah campurankapur 4%, 6%, 8%, 10% dan 12 %

BAB V. Pembahasan Hasil Penelitian

Analisis data kecepatan aliran, analisis data kehilangan air, analisis data koefisien permeabilitas tanah asli, analisis data kehilangan air, analisis data koefisien permeabilitas tanah campurankapur 4%, 6%, 8%, 10% dan 12 %

BAB VI. Kesimpulan, Implementasi dan Rekomendasi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Teori Umum Kehilangan Air

Kehilangan air irigasi yang terjadi selama pemberian air disebabkan oleh rembesan di penampang basah saluran, epavorasi dan kehilangan operasional. Tujuan yang ingin dicapai adalah menganalisis besarnya efisiensi pada jaringan irigasi malaka dengan menganalisis debit air masuk dan debit air keluar (Bunganaen W, 2017)

Kebutuhan air irigasi padi sawah meliputi kebutuhan untuk evapotranspirasi, kehilangan air karena perkolasi dan rembesan di samping itu untuk pengairan awal dibutuhkan sejumlah air untuk penjemuran tanah. Sedangkan pada tanaman selain padi sawah kehilangan air karena perkolasi dan rembesan tidak termasuk kebutuhan air irigasi. Fungsi air tanaman padi adalah untuk mengatur suhu tanaman dan kondisi kelembaban serta mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman padi (Winarso, 1985)

Kebutuhan Air Tanaman dan Perkolasi Kebutuhan air untuk tanaman adalah kebutuhan air untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yaitu air irigasi yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi dikurangi curah hujan efektif (Franzini, 1979)

Besarnya kehilangan rembesan ke daerah sekitarnya bervariasi tergantung pada permeabilitas tanah, panjang dan bentuk saluran yang dibasahi, kedalaman air di saluran, laju dan kecepatan aliran, konstruksi aliran air tanah (Mohamed, 2022)

Simulasi numerik diterapkan untuk mengetahui faktor efektif rembesan dari saluran tanah. Model numerik termasuk bagian yang berbeda dari saluran tanah trapesium, persegi panjang dan segi tiga dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. (Reza, 2019)

Dalam pemberian air irigasi perlu diperhatikan kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air yang dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh keadaan tekstur, struktur dan keadaan profil tanah (Surianarayanan, 2017). Kemampuan tanah

memegang air perlu diperhitungkan karena pemberian air diatas kemampuan tanah memegang air menyebabkan air akan dialirkan sebagai aliran permukaan atau bergerak ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui perkolasi. Tanah yang ideal strukturnya adalah yang mempunyai perimbangan antara pori aerasi dan pori penahan air). Pada tanah bertekstur pasir air akan mudah terdrainasi dan mudah pula ter evapotranspirasi sebaliknya pada tanah liat berat drainase dan penyerapan air oleh tanaman lebih terhambat. Tanah bertekstur halus dan mempunyai struktur remah akan lebih mampu menahan air tersedia (Agus,2005)

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap hilangnya air saluran irigasi meliputi rembesan melalui saluran primer, penguapan permukaan dan sistem operasi. Kerugian penguapan sering diabaikan karena jauh lebih tidak signifikan daripada yang lain. Berbagai perkiraan telah diberikan tentang hilangnya rembesan di berbagai daerah pertanian. Kerugian diperkirakan sekitar 50% dari seluruh pasokan air (Salemi, 2006) Oleh karena itu, solusi telah diusulkan untuk mengurangi kehilangan rembesan termasuk dasar kanal dan lapisan tepian. Namun, mengingat bahwa lapisan menurun dari waktu ke waktu tidak memberikan perlindungan terhadap kerugian tersebut ini bukan solusi yang dapat diandalkan untuk pengendalian rembesan (Mohammadi 2019).

Kehilangan air dari saluran merupakan sumber utama kehilangan air selama pengangkutan air di daerah irigasi dan menyumbang lebih dari 15% ~ 50% (Stuuroop Joris, 2022) dari total air irigasi di beberapa daerah rembesan saluran tidak hanya memboroskan air tetapi juga mempertahankan air tanah pada tingkat tinggi di sekitar saluran dan dapat menyebabkan salinisasi tanah dan genangan air (Wang,2002).

Dalam sistem irigasi saluran banyak digunakan untuk mengalirkan air dari waduk ke lahan pertanian. Dalam sebagian besar kasus jumlah sebenarnya air di ujung saluran secara signifikan lebih kecil daripada jumlah yang masuk ke bukaan saluran air penyebab terpentingnya adalah rembesan air dari saluran (Yusof, 2021). Akibatnya, diagnosis dan kuantifikasi proses rembesan dari saluran sangat diperlukan untuk melindungi sumber daya air, mengelola air permukaan dan air tanah untuk menentukan tingkat keparahan kerugian terkait rembesan dan menilai potensi manfaat

teknis dan fiskal dari teknik pengurangan rembesan dan teknologi (Hosseinzadeh R, 2020)

Kehilangan air irigasi yang terjadi selama pemberian air disebabkan terutama oleh perembesan (*seepage*) di penampang basah saluran, evaporasi (umumnya relatif kecil) dan kehilangan operasional (*operational losses*) yang tergantung pada sistem pengelolaan air irigasi (Xudong Han, 2021). Kehilangan air irigasi dari pintu sadap tersier sampai petakan sawah biasanya disebut sebagai efisiensi pemberian tersier sedangkan kehilangan air dari sadap bendung sampai ke sadap tersier dinyatakan sebagai efisiensi pemberian air di jaringan utama (Sumadiyono Agus, 2022)

Hilangnya air irigasi sifat tanah tempat saluran irigasi terbuka adalah alasan utama hilangnya air. Besarnya kehilangan rembesan ke daerah sekitarnya bervariasi tergantung pada permeabilitas tanah, panjang dan bentuk keliling saluran yang dibasahi, kedalaman air di saluran, laju dan kecepatan aliran, lokasi tabel air tanah dan konstruksi aliran air tanah (Mohamed, 2022)

Kehilangan air irigasi yang terjadi selama pemberian air disebabkan terutama oleh perembesan (*seepage*) di penampang basah saluran, evaporasi umumnya relatif kecil dan kehilangan operasional (*operational losses*) yang tergantung pada sistem pengelolaan air irigasi (Muhammad, 2019)

Rembesan terjadi apabila bangunan harus mengatasi beda tinggi muka air dan jika aliran yang disebabkan merasap masuk ke dalam tanah di sekitar bangunan. Aliran ini mempunyai pengaruh yang dapat merusak stabilitas bangunan karena terangkutnya bahan - bahan halus sehingga dapat menyebabkan erosi bawah tanah (*piping*). (Sukirman, 2014)

Retakan pada tubuh bendungan ini diindikasikan sebagai penyebab terjadinya rembesan. Rembesan dapat terjadi karena bangunan tidak dapat menahan beban air, sehingga air tersebut dapat mengalir meresap masuk ke dalam tanah di sekitar bangunan melalui retakan yang ada (Fajar Waskito, 2016). Beton dan geomembran adalah bahan umum yang digunakan dalam lapisan saluran untuk mengurangi rembesan saluran. (Han, 2021)

Kehilangan rembesan dari saluran yang tidak dilapisi merupakan kontributor utama kehilangan air di sektor pertanian. Kuantifikasi kehilangan rembesan dapat

meningkatkan efisiensi pengangkutan air dan memberikan solusi untuk kelangkaan air. (Farzin Salmasi, 2020) Ambang kapasitas penyimpanan air dibawah permukaan terlampaui untuk menyebabkan rembesan dikombinasikan dengan transisi dari sedimen laut kasar ke halus (Joris, 2022)

Pemberian air irigasi keareal persawahan sering mengalami permasalahan khususnya yang berada di hilir jarang mendapat suplay air yang tercukupi untuk tanaman padi. Hal ini dikarenakan kebutuhan air dipetak sawah tidak pernah dihitung berdasarkan luas petak serta ditambah dengan menurunnya fungsi jaringan irigasi akibat dari umur bangunan yang sudah tidak layak lagi serta banyaknya sedimentasi, rumput-rumput di sepanjang saluran (Urnianto, 2020)

Padi merupakan tanaman pangan utama bagi rakyat Indonesia. Untuk meningkatkan produksi padi, pemerintah telah mengeluarkan investasi yang sangat besar guna membangun sarana dan prasarannya seperti bendungan, bendung dan saluran irigasi. Hal ini terjadi akibat menurunnya ketersediaan air dan meningkatnya kebutuhan akan air adalah banyak lahan sawah irigasi teknis yang tidak dapat ditanami padi karena tidak cukupnya air terutama di daerah irigasi bagian hilir. Dengan demikian sistem irigasi hemat air merupakan salah satu alternatif yang harus dilaksanakan untuk menjaga agar lahan produksi tetap dapat terairi tanpa mengurangi produksi (Sujono, 2011)

2.2 Daerah Aliran Sungai

2.2.1 Pengertian sungai

Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air, mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan (Wicaksana, Surya P, 2014). Wilayah sungai adalah kesatuan wilayah tata pengairan sebagai hasil pengembangan satu atau lebih daerah pengaliran sungai. Bantaran sungai adalah lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam. Garis sempadan sungai adalah garis batas luar pengaman sungai (Peraturan Pemerintah No. 35/1991 dan Peraturan Menteri PU No.63/PRT/1993).

Konsep daerah aliran sungai merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi. mengingat DAS yang besar pada dasarnya tersusun dari DAS kecil, dan

DAS kecil ini juga tersusun dari DAS yang lebih kecil lagi (Waskito Fajar, 2016). Secara umum DAS dapat didefinisikan suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti punggung bukit-bukit atau gunung maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*). (Suripin, 2002).

2.2.2 Pengertian hidrologi

Hidrologi adalah suatu cabang ilmu tentang kehadiran dan gerakan air dalam meliputi berbagai bentuk air yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer diatas dan dibawah permukaan tanah (Waskito Fajar, 2016) sedangkan hidrologi DAS adalah cabang hidrologi yang mempelajari pengaruh pengelolaan vegetasi lahan didaerah tangkapan air bagian hulu (*upper catchment*) terhadap daur air termasuk pengaruh terhadap erosi, kualitas air, banjir dan iklim didaerah hulu dan hilir (Susilowati, 2020)

1) Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah sebuah proses pergerakan air dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi yang berlangsung secara kontinyu. Selain berlangsung secara kontinyu siklus hidrologi juga merupakan siklus yang bersifat konstan pada sembarang daerah (Wisler dan Brater, 1959). Siklus hidrologi dimulai dengan terjadinya penguapan air ke udara. Air yang menguap tersebut kemudian mengalami proses kodensasi (penggumpalan) di udara yang kemudian membentuk gumpalan-gumpalan yang dikenal dengan istilah awan (Triadmodjo, 2008)

Proses terjadinya siklus hidrologi secara terus menerus sebagai berikut :

a. Presipitasi

Presipitasi sebagai sebuah proses turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi. Jumlah presipitasi yang turun ke bumi tidak tetap bentuk dan jumlahnya. Bentuk presipitasi yang jatuh ke bumi dapat berupa hujan (air), salju, kabut, embun, dan hujan es. Bervariasinya bentuk dan jumlah presipitasi yang jatuh ke bumi ini disebabkan oleh faktor-faktor klimatologi di atmosfer seperti tekanan atmosfer, angin, dan temperatur (Triadmodjo, 2008)

b. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Proses infiltrasi dapat berlangsung secara vertikal dan horisontal (Swamee PK, dkk). Proses infiltrasi secara vertikal disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan dikenal dengan sebutan perkolasi. Proses infiltrasi yang terjadi secara horisontal disebabkan oleh adanya gaya kapiler yang dikenal sebagai aliran antara interflow (Triadmodjo, 2008).

c. Evaporasi

Mendefinisikan evaporasi (penguapan) sebagai sebuah proses pertukaran molekul air di permukaan menjadi molekul uap air di atmosfer. Dalam hidrologi penguapan dibedakan menjadi evaporasi dan transpirasi (Surianarayanan, 2017). Evaporasi adalah penguapan yang terjadi pada permukaan air, sedangkan transpirasi adalah penguapan yang terjadi melalui peranan tanaman. Transpirasi dapat terjadi mengingat jumlah air hujan yang turun tidak sepenuhnya dapat mengalir, melainkan ada beberapa jumlah air hujan yang tertahan pada tanaman. (Sri Harto, 1983)

d. Evapotranspirasi

adalah proses evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evapotranspirasi menjadi unsur yang sangat penting dalam sebuah siklus hidrologi, karena evapotranspirasi bernilai sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan tanaman (Triadmodjo, 2008)

e. Neraca Air

Neraca air (water balance) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (surplus) ataupun kekurangan (defisit). Kegunaan mengetahui kondisi air pada surplus dan defisit dapat mengantisipasi bencana yang kemungkinan terjadi, serta dapat pula untuk mendayagunakan air sebaik-baiknya. Manfaat secara umum yang dapat diperoleh dari analisis neraca air antara lain:

- a) Digunakan sebagai dasar pembuatan bangunan penyimpanan dan pembagi air serta saluran-salurannya. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang defisit air.
- b) Sebagai dasar pembuatan saluran drainase dan teknik pengendalian banjir. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang surplus air.
- c) Sebagai dasar pemanfaatan air alam untuk berbagai keperluan pertanian seperti sawah, perkebunan, dan perikanan. Model neraca air cukup banyak, namun yang biasa dikenal terdiri atas tiga model antara lain: $\frac{3}{4}$ Model Neraca Air Umum Model ini menggunakan data klimatologis dan bermanfaat untuk mengetahui berlangsungnya bulan-bulan basah (jumlah curah hujan melebihi kehilangan air untuk penguapan dari permukaan tanah atau evaporasi maupun penguapan dari sistem tanaman atau transpirasi, penggabungan keduanya dikenal sebagai evapotranspirasi). Untuk mendapatkan besarnya nilai kebutuhan air secara keseluruhan dari sub model kebutuhan air. Perhitungan tersebut disajikan pada Persamaan (2.1).

$$Q_d = \pi r^2 Q_{dm} + Q_{agri} + Q_{in} \dots\dots\dots(2.1)$$

Q_d : Total kebutuhan air (m^3 /tahun)

Q_{agri} : Kebutuhanair untuk pertanian (m^3 /tahun)

Q_{in} : Kebutuhanair untuk industri (m^3 /tahun)

Kebutuhan air lainnya yang digunakan dalam analisis yaitu besarnya kebutuhan air untuk pertanian. Persamaan untuk menghitung kebutuhan air pertanian disajikan pada Persamaan (2.2)

$$Q_{agri(jj)} = A_{jj} \times q_{crop} \times t \times s \dots\dots\dots(2.2)$$

jj : Jenis lahan sawah (irigasi atau non irigasi)

A : Luas lahan sawah

q_{crop} : Kebutuhan air tanam untuk setiap jenis tanaman (m/hari)

t : umur tanam (hari)

s : sistem pola tanam

2) Karakterisasi Daerah Irigasi dan Analisis Ketersediaan Air

Ketersediaan air tingkat Daerah Irigasi direpresentasikan oleh distribusi temporal debit yang berasal dari bendungan/waduk (Mohammadi et al. 2019). Ketersediaan air tingkat daerah irigasi selanjutnya di *downscaling* menjadi ketersediaan air tingkat kecamatan berdasarkan analisis data debit pada bangunan *intake* tersier dan jumlah bangunan *intake* tersier yang terdapat di setiap kecamatan yang mendapat layanan irigasi dari bendungan/waduk. (Apriyana Y, 2018)

Kebutuhan irigasi lahan sawah terdiri dari kebutuhan air untuk tanaman, pengolahan tanah serta penggenangan. Analisis kebutuhan air tanaman dilakukan menggunakan Metode Buletin FAO No 56 (Allen *et.al.*, 1998). Kebutuhan air tanaman dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$ET_{Tan} = K_c \times E_{To} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

ET_{Tan} : evapotranspirasi tanaman

E_{To} : evapotranspirasi potensial sebagai referensi

K_c : koefisien tanaman

Kebutuhan irigasi lahan sawah dihitung berdasarkan metode yang dikembangkan Balitklimatologi (Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, 1999) dengan ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut

$$G_{ij} > G_{min}$$

$$G_t = G_{ti} - P_{erci} - ET_{ci} + CH_i \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

G_t = tinggi genangan air lahan sawah pada hari ke-i (mm)

G_{min} = tinggi genangan air lahan sawah minimum (mm)

3) Pengertian irigasi

Pembangunan irigasi di Indonesia sudah berjalan lebih dari satu abad, maka kita telah dapat mengumpulkan pengalaman-pengalaman berharga yang sangat bermanfaat bagi pengembangan irigasi selanjutnya. Pengalaman tersebut didapatkan baik pada tahap studi, perencanaan maupun pada tahap pelaksanaan dan eksploitasi dan pemeliharaan (Standar Perencanaan Irigasi, 1986).

Melalui proses yang cukup panjang telah dilakukan pengumpulan, pengkajian dan penelitian terhadap perencanaan yang sudah berjalan, laporan– laporan, kriteria yang dipergunakan di proyek – proyek, pedoman dan standar di bidang lain yang berlaku di Indonesia serta referensi perencanaan irigasi dari luar Indonesia. Banyak pendapat dan saran para ahli irigasi di Indonesia telah ditampung melalui acara diskusi, kemudian dianalisis dan kesimpulannya dimasukkan dalam standar ini (Standar Perencanaan Irigasi, 1986).

Irigasi adalah usaha penyediaan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian, yang jenisnya meliputi irigasi air permukaan, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa dan irigasi tambak (PP No. 20 / 2006 Tentang Irigasi).

Jaringan utama adalah jaringan irigasi yang berada dalam satu sistem irigasi, mulai dari bangunan utama, saluran induk/primer, saluran sekunder, dan bangunan sadap serta pelengkap (PP No. 20 / 2006 Tentang Irigasi)

Perkumpulan petani pemakai air adalah kelembagaan pengelola irigasi yang menjadi wadah petani pemakai air dalam suatu daerah pelayanan irigasi yang dibentuk oleh petani secara demokratis, termasuk kelembagaan lokal pengelola air irigasi (PP No. 20 / 2006 Tentang Irigasi)

4) Pengelolaan Irigasi

Pengelolaan irigasi sebagai usaha pendayagunaan air irigasi yang meliputi operasi dan pemeliharaan, pengamanan, rehabilitasi, dan peningkatan irigasi. Pengelolaan irigasi diselenggarakan dengan mengutamakan kepentingan masyarakat petani dan dengan menempatkan perkumpulan petani pemakai air sebagai pengambil keputusan dan pelaku utama dalam pengelolaan irigasi yang menjadi tanggung jawabnya. Untuk mencapai hal tersebut dilakukan pemberdayaan perkumpulan petani pemakai air secara berkesinambungan dan berkelanjutan (PP No. 20 / 2006)

2.2.3 Analisis ketersediaan air

1. Konsep Dasar Ketersediaan Air

- a) Ketersediaan Air Permukaan: Mengacu pada jumlah air yang dapat diakses di sungai, danau atau waduk. Faktor yang mempengaruhi

ketersediaan air permukaan termasuk curah hujan, topografi, dan pola aliran air.

- b) Ketersediaan Air Tanah. Berdasarkan pada keberadaan air yang tersimpan dalam lapisan tanah atau akuifer. Ini dipengaruhi oleh infiltrasi air hujan, sifat tanah dan kedalaman akuifer.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ketersediaan Air

- a) Curah Hujan. Curah hujan yang cukup akan meningkatkan ketersediaan air baik di permukaan maupun dalam tanah.
- b) Drainase dan Penguapan. Kelembapan tanah dan laju penguapan juga mempengaruhi berapa banyak air yang dapat diserap dan tersedia di lingkungan sekitar.
- c) Penggunaan Lahan dan Aktivitas Manusia. Penggunaan air untuk irigasi, industri, dan domestik mengurangi ketersediaan air yang tersedia secara alami. Pencemaran air juga dapat mengurangi kualitas air yang dapat digunakan.
- d) Sumber Daya Alam. Keberadaan sumber daya alam lain, seperti hutan yang berperan dalam siklus air dapat mempengaruhi keseimbangan ketersediaan air.

3. Masalah dalam Ketersediaan Air

- a) Kekeringan. Kondisi di mana curah hujan rendah atau terjadinya penguapan yang tinggi, mengurangi ketersediaan air.
- b) Keterbatasan Sumber Daya. Keterbatasan sumber daya air di daerah dengan tekanan tinggi terhadap kebutuhan air untuk irigasi, industri dan konsumsi domestik.
- c) Polusi Air. Menurunnya kualitas air akibat pencemaran yang menyebabkan ketersediaan air menjadi terbatas.

Salah satu model untuk pengembangan model hujan- aliran adalah Model Mock. Model Mock ditemukan dan dikembangkan oleh Dr. F.J. Mock pada tahun 1973. Pada prinsipnya metode F.J Mock memperhitungkan volume air yang masuk, keluar dan yang disimpan di dalam tanah (*soil moisture*). Volume air yang masuk adalah hujan, volume air yang keluar adalah infiltrasi, perkolasi dan

yang paling dominan adalah evapotranspirasi. Secara keseluruhan besarnya debit suatu daerah aliran sungai berdasarkan konsep *water balance*. Metode ini sangat dianjurkan untuk memperkirakan debit andalan sungai-sungai yang ada di Indonesia (Dirjen ESDM, 2009 dalam Wirasembada, 2012). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$QRO = \frac{AXTRO}{t} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

- QRO = debit *run off* (m3/detik)
- A = luas *catchment area* (m2)
- TRO = debit limpasan sungai (mm)
- t = waktu (detik)

Total limpasan (TRO) dihitung dengan:

$$TRO = BF + DRO + SR \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

- TRO = debit limpasan sungai (mm)
- BF = *base flow* (mm)
- DRO = *direct run off* (mm)
- SR = *storm run off* (mm)

2.2.4 Analisa Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah air yang diperlukan untuk mengairi lahan pertanian dengan cara yang optimal agar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Kebutuhan ini ditentukan oleh faktor-faktor berikut:

1. Jenis tanaman
2. Tahap pertumbuhan tanaman
3. Kondisi tanah
4. Curah hujan
5. Suhu

2.2.5 Metode dalam Analisis Kebutuhan Air Irigasi

1. Pendekatan *Balance Air*. Menghitung perbedaan antara kehilangan air yang terjadi melalui evapotranspirasi dan penyiraman yang dibutuhkan tanaman.

2. Pendekatan *Balance Energi*. Menggunakan prinsip-prinsip energi dan transfer panas untuk menentukan kebutuhan air berdasarkan jumlah energi yang tersedia untuk menguapkan air dari tanah dan tanaman.
3. Pendekatan Empiris. Menggunakan data historis, model matematis, atau data dari pengamatan lapangan untuk menghitung kebutuhan air. Pendekatan ini biasanya memanfaatkan persamaan penjadwalan irigasi, seperti persamaan Penman-Monteith atau Blaney-Criddle.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan Air Irigasi:

1. Curah Hujan adalah Curah hujan yang mencukupi dapat mengurangi kebutuhan irigasi, sementara curah hujan yang rendah memerlukan pasokan air tambahan dari sumber irigasi.
2. Jenis Tanaman adalah Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan air yang berbeda-beda. Misalnya, tanaman padi membutuhkan lebih banyak air dibandingkan dengan jagung atau gandum.
3. Kondisi Tanah adalah Tanah yang lebih berpori akan menyerap lebih banyak air, sementara tanah yang padat memiliki kehilangan air yang lebih sedikit.
4. Suhu dan Kelembaban adalah Suhu yang lebih tinggi dan kelembaban yang rendah meningkatkan kebutuhan air tanaman melalui proses evapotranspirasi

Tujuan dari Analisis Kebutuhan Air Irigasi:

1. Efisiensi Penggunaan Air. Memastikan penggunaan air yang efisien dan mengurangi pemborosan.
2. Manajemen Sumber Daya Air. Menjaga keseimbangan antara pasokan dan permintaan air.
3. Kestabilan Produksi Tanaman: Menjaga produktivitas pertanian dalam jangka panjang.

Kebutuhan air irigasi dihitung dengan mengacu pada metode perhitungan berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP-01 (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986) dengan persamaan-persamaan berikut:

$$QD = \frac{Dr}{1000} A \dots\dots\dots(2.7)$$

$$DR = \frac{NFR}{IEx8,64} \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk tanaman padi selama penyiapan lahan sebagai berikut

$$NFR = ET_c + P + WLR - R_{eff} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

NFR = kebutuhan air disawah (mm/hari),

ET_c = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari),

WLR = penggantian genangan air (mm/hari),

P = perkolasi (mm/hari),

R_{eff} = hujan efektif (mm/hari),

2.2.6 Kebutuhanair irigasi (KAI)

Air yang digunakan untuk mengairi sawah berasal dari sumber air yang telah ditentukan oleh yang berwenang (Dinas Pengairan dan Dinas Pertanian) dengan aliran air yang tidak deras. Air yang masuk ke petak sawah harus dipertahankan agar bisa mengenangi dan merata, sehingga permukaan tanah terairi dan basah. Pada petak sawah harus terdapat lubang pemasukan dan lubang pembuangan air yang letaknya berseberangan, agar air yang diperlukan oleh tanaman dapat merata di seluruh lahan. Kebutuhan air di sawah dihitung dengan persamaan

$$KAI = \frac{WLR + P - R_c + E_{tc}}{EI} \times AI \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

KAI = Kebutuhan air untuk irigasi (Ltr/Detik)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

R_c = Curah hujan efektif (mm/hari)

E_{tc} = Kebutuhan air konsumtif (mm/ hari)

IR = kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/ hari)

EI = Efisiensi Irigasi (%)

AI = Luas daerah irigasi (Ha)

2.2.7 Aliran air tanah

Permeabilitas adalah sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir melewati rongga pori. Tanah termasuk bahan

yang permeabel atau berpori sehingga air dapat mengalir melalui pori-pori tanah tersebut, jadi permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Chairunnisa N, 2021). Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. *Total head* (jumlah total tekanan ketika air mengalir) adalah *elevation head* (tekanan akibat ketinggian air) ditambah dengan *pressure head* (tekanan air akibat batuan berpori) dan ditambah dengan *velocity head* (tekanan akibat kecepatan aliran air untuk mengetahui besar tekanan air pori, Teorema Bernoulli dapat diterapkan. Menurut Bernoulli *Total Head* pada suatu titik dapat dinyatakan oleh persamaan

$$h = z + \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

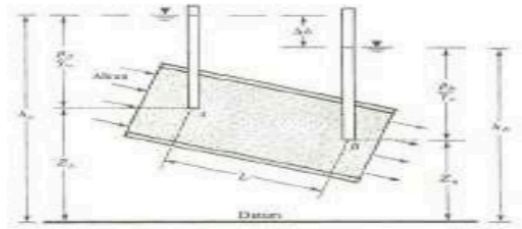
- h : *total head* (m)
- p/γ_w : *pressure head* (m)
- p : tekanan air (kN/m²),
- γ_w : berat volume air (kN/m³)
- v : kecepatan air (m/det),
- z : *elevation head* (m).
- g : percepatan gravitasi (m/s²)

2.2.8 Estimasi rembesan

Untuk memperkirakan kehilangan rembesan dalam model optimasi diprogram dalam Matlab dengan persamaan di setiap segmen, koefisien permeabilitas tanah diubah dalam kisaran tertentu berdasarkan tekanan, elevasi dan tinggi energi total aliran dalam tanah (Ahuchaogu I dkk)

$$Q_s = K_{yn} \left[(4\pi - \pi^2)^{1,3} + 2m^{1,3} \right]^{\frac{0,77+0,462}{1,3+0,6}} + \left(\frac{b}{y_1} \right)^{\frac{0,77+0,462}{1,3+0,6}} \dots\dots\dots(2.12)$$

- Qs : laju aliran rembesan (m3/detik)
- Kyn : koefisien permeabilitas (m/s),
- b : lebar dasar saluran (m),
- y : kedalaman air normal di saluran (m).



Gambar 2.1 Pergerakan air tanah

Pergerakan air tanah atau yang biasa disebut dengan aliran air tanah terjadi karena adanya perbedaan tekanan air. Untuk menghitung kecepatan aliran air yang mengalir dapat menggunakan persamaan yang sederhana yaitu Hukum Darcy. Darcy (1956), mengusulkan hubungan antara kecepatan dan gradient hidrolik sebagai berikut :

$$V = k \times \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

- V : Kecepatan air (cm/det)
- Δh : Beda tinggi elevasi (cm)
- L : Jarak A dan B (cm)
- k : Koefisien Permeabilitas (cm/det)

Debit rembesan (q) dinyatakan dalam persamaan :

$$q = k \times i \times A \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan :

- q : Debit rembesan (cm)
- k : Koefisien permeabilitas (cm/det)
- i : Gradien hidrolik
- A : Luas penampang (cm²)

2.2.9 Koefisien rembesan

Koefisien rembesan tergantung pada beberapa faktor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran butir pori, angka pori, kekasaran butiran permukaan tanah dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung struktur tanah memegang

peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan. Nilai koefisien rembesan tanah bisa didapatkan dari 3 cara yaitu :

- 1) Nilai koefisien permeabilitas (k)
- 2) Metode tinggi air terjun di dalam tangki (*falling head soil core*)
- 3) Nilai koefisien permeabilitas menurut Hazen

2.2.10 Faktor yang Mempengaruhi Rembesan

Adapun faktor yang mempengaruhi rembesan sebagai berikut

1. Jenis tanah.
Tanah berbutir kasar (pasir, kerikil) memiliki permeabilitas lebih tinggi dibanding tanah lempung.
2. Gradien hidraulik.
Perbedaan tinggi muka air antara sisi hulu dan hilir memengaruhi tekanan rembesan.
3. Kondisi geometri saluran.
Panjang jalur rembesan, kemiringan dasar saluran dan adanya lapisan kedap air memengaruhi kecepatan rembesan.

2.2.11 Jenis rembesan pada saluran

Adapun jenis rembesan sebagai berikut :

1. Rembesan lateral.
Rembesan lateral adalah aliran air yang terjadi melalui dinding saluran. Ini terjadi ketika air yang mengalir dalam saluran merembes keluar melalui sisi saluran yang mungkin memiliki celah atau retakan. Penyebab utamanya adalah ketidakmampuan saluran untuk sepenuhnya menahan air, atau porositas tanah di sepanjang saluran yang lebih tinggi. Rembesan lateral ini dapat menyebabkan kehilangan air yang seharusnya digunakan untuk irigasi dan dapat merusak struktur dinding saluran, mengurangi kapasitas aliran dan menyebabkan erosi tanah di sekitar saluran.
2. Rembesan bawah (*underseepage*).
Rembesan bawah (*underseepage*) merujuk pada aliran air yang terjadi melalui dasar saluran. Air di dalam saluran dapat merembes ke bawah jika tekanan air cukup tinggi untuk memaksanya keluar melalui dasar saluran. Faktor

penyebab rembesan ini termasuk ketidakterkekalan pada dasar saluran, seperti kerusakan pada beton atau material yang kurang kedap, serta tanah dengan permeabilitas tinggi. Rembesan bawah ini dapat menyebabkan hilangnya air yang besar dan dapat mengarah pada erosi tanah di bawah saluran. Jika tidak segera ditangani, rembesan ini bisa menyebabkan keruntuhan struktur dasar saluran

3. Rembesan melalui retakan atau celah.

Rembesan melalui retakan atau celah terjadi ketika air mengalir melalui retakan alami atau celah-celah dalam tanah atau material saluran. Retakan ini biasanya terbentuk akibat pergerakan tanah, perubahan suhu, atau degradasi material saluran. Tanah dengan retakan alami, seperti tanah liat atau batuan yang terbelah, sangat rentan terhadap jenis rembesan ini. Aliran air melalui celah-celah ini dapat menyebabkan kerugian air yang signifikan, serta merusak saluran jika dibiarkan. Selain itu, rembesan ini dapat mempengaruhi stabilitas struktur saluran, karena air yang merembes membawa material dari retakan tersebut, memperburuk kerusakan pada tanah di sekitarnya

2.2.12 Solusi untuk Mengatasi Rembesan

Beberapa cara untuk mengendalikan rembesan, antara lain:

1. Lining saluran.

Lining saluran adalah metode untuk meningkatkan efisiensi saluran irigasi atau bendungan dengan melapisi dinding dan dasar saluran menggunakan bahan kedap air. Bahan-bahan yang umum digunakan dalam lining saluran adalah beton atau geomembran, yang berfungsi untuk mencegah atau mengurangi rembesan air melalui dinding dan dasar saluran. Beton, sebagai salah satu bahan konstruksi utama, memberikan kekuatan struktural dan perlindungan terhadap kerusakan mekanis, sedangkan geomembran, yang terbuat dari plastik, lebih fleksibel dan lebih mudah dipasang, menawarkan kedap air yang sangat efektif. Penerapan lining saluran ini sangat penting dalam area dengan tanah yang sangat permeabel, di mana air dapat merembes keluar, menyebabkan pemborosan dan kehilangan air yang seharusnya digunakan untuk irigasi atau pengisian waduk. Dengan

menggunakan lining saluran, saluran menjadi lebih kedap air, mengurangi kehilangan air, serta meningkatkan efisiensi pengaliran dan pengolahan air.

2. Perbaikan tanah.

Perbaikan tanah merupakan teknik yang digunakan untuk mengurangi permeabilitas tanah yang dapat menyebabkan rembesan atau kebocoran air melalui saluran atau bendungan. Salah satu metode yang sering digunakan dalam perbaikan tanah adalah *grouting*, yaitu proses menyuntikkan bahan kimia atau campuran semen ke dalam tanah untuk mengisi pori-pori tanah dan mengurangi ruang yang memungkinkan air merembes. Selain *grouting*, metode lain yang digunakan adalah *compacted clay liners (CCL)*, di mana lapisan tanah liat dipadatkan untuk menciptakan penghalang kedap air yang efektif. Tanah liat yang dipadatkan memiliki sifat impermeabel yang menghambat aliran air dan meminimalkan rembesan. Teknik perbaikan tanah ini banyak diterapkan pada proyek bendungan, saluran irigasi, dan tempat penyimpanan air yang memerlukan pengurangan rembesan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan struktur.

3. Penggunaan *cut-off wall*.

Penggunaan *cut-off wall* adalah metode untuk memotong jalur rembesan air yang bergerak melalui dasar atau dinding saluran dengan membangun penghalang vertikal yang kedap air. *Cut-off wall* biasanya dibangun dengan menggunakan material seperti beton, bentonite, atau tanah liat yang dipadatkan. Penghalang vertikal ini berfungsi untuk menghalangi aliran air yang mencoba merembes dari area saluran ke bawah atau ke sisi, mengurangi kehilangan air dan meningkatkan stabilitas struktur saluran atau bendungan. Biasanya, *cut-off wall* dipasang di bawah struktur saluran atau di sepanjang titik-titik kritis di mana rembesan sering terjadi. Dengan mengintegrasikan *cut-off wall*, jalur aliran rembesan dapat dipotong secara efektif, mencegah kerusakan lebih lanjut pada saluran dan mengurangi potensi erosi tanah yang disebabkan oleh air yang merembes ke area sekitar.

4. Pengelolaan muka air.

Pengelolaan muka air adalah teknik yang digunakan untuk mengatur tinggi muka air dalam saluran atau bendungan untuk mengurangi gradien hidrolik, yaitu

perbedaan tekanan air yang dapat mempengaruhi aliran dan potensi rembesan. Gradien hidraulik yang tinggi dapat meningkatkan tekanan pada struktur saluran atau bendungan, memaksa air untuk merembes keluar melalui dinding atau dasar saluran. Dengan mengatur tinggi muka air, gradien hidraulik dapat dikendalikan dan dikurangi, yang pada gilirannya membantu mengurangi risiko rembesan. Pengelolaan muka air ini bisa dilakukan dengan mengatur level tinggi air di waduk atau saluran, memperhatikan perubahan curah hujan, dan melakukan penyesuaian sesuai dengan kondisi hidrologi yang ada. Teknik ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan air untuk irigasi dan stabilitas struktur, serta mengurangi potensi kerusakan akibat rembesan air yang berlebihan

2.2.13 Definisi kehilangan air

Kehilangan air adalah selisih antara banyaknya air yang disediakan dengan air yang dikonsumsi (Dietrich Kristoph 2010). Pada kenyataannya kehilangan air dalam suatu perencanaan sistem distribusi selalu ada. Kehilangan air tersebut dapat bersifat teknis dan non teknis. Contoh kehilangan air bersifat teknis adalah kebocoran pada pipa. Sedangkan contoh kehilangan air bersifat non teknis adalah pencurian air yang dilakukan pihak yang tidak bertanggung jawab. (Afizahh 1990) Kehilangan air pada tiap ruas pengukuran debit masuk (*Inflow*) debit keluar (*Outflow*) diperhitungkan sebagai selisih antara debit masuk dan debit keluar. (Tim

Penelitian Water Management IPB, 1993)

$$h_n = I_n + O_n \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

h_n = kehilangan air pada ruas pengukuran/bentang saluran ke n (m^3/det)

I_n = debit masuk ruas pengukuran ke n (m^3/det)

O_n = debit keluar ruas pengukuran ke n (m^3/det)

2.2.14 Efisiensi Saluran

Efisiensi saluran irigasi adalah perbandingan antara jumlah air yang digunakan untuk kebutuhan tanaman dengan jumlah kebutuhan air dipintu pengambilan.

1. Efisiensi air irigasi dapat dibagi menjadi beberapa komponen, di antaranya:
 - a) Efisiensi Aplikasi (*Application Efficiency*) Mengukur seberapa banyak air yang diterapkan ke tanah yang benar-benar diserap dan digunakan oleh tanaman.
 - b) Efisiensi Distribusi (*Distribution Efficiency*) Mengukur sejauh mana air didistribusikan secara merata ke seluruh area irigasi.
 - c) Efisiensi Penyimpanan (*Storage Efficiency*) Mengukur kemampuan tanah menyimpan air yang diterapkan.
 - d) Efisiensi Transportasi (*Conveyance Efficiency*) Mengukur proporsi air yang sampai ke lahan dibandingkan dengan jumlah yang hilang selama transportasi (misalnya, karena kebocoran atau penguapan).
2. Indikator Efisiensi
Beberapa indikator digunakan untuk menilai efisiensi air irigasi, seperti:
 - a) Koefisien Serapan (*Crop Consumptive Use Efficiency*). Proporsi air yang digunakan tanaman untuk kebutuhan fisiologisnya dibandingkan total air yang diberikan.
 - b) Efisiensi Pemanfaatan Air (*Water Use Efficiency*). Hubungan antara hasil panen yang diperoleh dengan jumlah air yang digunakan.
3. Strategi untuk Meningkatkan Efisiensi
Beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi air irigasi meliputi:
 - a. Penggunaan Teknologi Modern
 - a) Sistem irigasi tetes (*drip irrigation*) yang memberikan air langsung ke akar tanaman.
 - b) Sistem irigasi *sprinkler* untuk distribusi air yang lebih merata.
 - b. Pengelolaan Tanah dan Tanaman
 - a) Penyiapan lahan yang baik untuk mengurangi limpasan dan erosi.
 - b) Penggunaan mulsa untuk mengurangi penguapan.
 - c. Perbaikan Infrastruktur
 - a) Memperbaiki saluran irigasi untuk mengurangi kebocoran.
 - b) Menggunakan bahan yang tahan air untuk saluran.

4. Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi

- a) Kondisi tanah (tekstur, struktur, kapasitas lapang).
- b) Jenis tanaman dan kebutuhan airnya.
- c) Teknologi yang digunakan.
- d) Manajemen irigasi (jadwal dan jumlah aplikasi air).
- e) Kondisi iklim, seperti suhu dan kecepatan angin, yang memengaruhi penguapan.

Efisiensi irigasi menunjukkan angka daya guna pemakaian air yaitu merupakan perbandingan antara jumlah air yang digunakan dengan jumlah air yang diberikan yang dinyatakan dalam persen (%) (Sumadiyono et al. 2022).

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Debit air yang masuk } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang keluar } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

Bila angka kehilangan air naik maka efisiensi akan turun dan begitu pula sebaliknya. Efisiensi diperlukan karena adanya pengaruh kehilangan air yang disebabkan oleh evaporasi, perkolasi, infiltrasi, kebocoran dan rembesan. Perkiraan efisiensi irigasi ditetapkan sebagai berikut (KP-01, 1986: 10) : (1) jaringan tersier = 80 % ; (2) jaringan sekunder = 90 %; dan (3) jaringan primer = 90 %. Sedangkan faktor efisiensi irigasi secara keseluruhan adalah 80 % x 90 % x 90 % = 65 % (Purnomo and Departemen, 2017)

2.2.15 Kapur pada tanah

1. Pengertian Kapur

Kapur merupakan salah satu bahan yang sangat serbaguna dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi terutama dalam stabilisasi tanah. Kapur yang digunakan dalam stabilisasi tanah terdiri dari dua jenis utama, yaitu:

a) Kapur Tohor (CaO)

Kapur tohor diperoleh melalui proses kalsinasi atau pemanasan batu kapur mentah (kalsium karbonat, CaCO_3) pada suhu tinggi, biasanya antara 900 hingga 1000°C. Dalam proses ini, karbon dioksida (CO_2) dilepaskan dari batu

kapur sehingga terbentuk kalsium oksida (CaO) atau yang lebih dikenal sebagai kapur tohor. Kapur tohor sangat reaktif dengan air dan ketika ditambahkan ke dalam tanah, ia akan menyerap air untuk membentuk kapur hidrat. Reaksi ini bersifat eksotermis menghasilkan panas dan menciptakan kondisi yang lebih stabil pada tanah yang dilembapkan.



b) Kapur Hidrat (Ca(OH)₂)

Kapur hidrat terbentuk dari reaksi antara kapur tohor dengan air dalam proses yang disebut hidrasi. Kapur hidrat (kalsium hidroksida) ini lebih stabil dan sering digunakan dalam proses stabilisasi tanah, terutama untuk memperkuat tanah berlempung. Kapur hidrat mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah serta mengurangi plastisitas dan penyusutan tanah.



Kapur hidrat sangat efektif dalam merespon mineral tanah, terutama dalam tanah lempung yang kaya akan silika dan alumina. Ketika kapur berinteraksi dengan komponen tanah, terjadi perubahan kimia yang menghasilkan perbaikan dalam stabilitas, kekuatan, dan daya dukung tanah.

2. Manfaat Kapur dalam Stabilisasi Tanah pada Saluran Irigasi

Penggunaan kapur dalam stabilisasi tanah saluran irigasi memiliki beberapa manfaat yang penting, antara lain:

a) Mengurangi Permeabilitas Tanah

Tanah di sekitar saluran irigasi yang distabilisasi dengan kapur mengalami penurunan permeabilitas. Reaksi kapur dengan mineral tanah menyebabkan ikatan antar partikel semakin kuat sehingga memperkecil pori-pori tanah. Hal ini membuat aliran air melalui tanah menjadi lambat dan rembesan berkurang

b) Mengurangi Rembesan Air

Salah satu masalah utama dalam saluran irigasi adalah rembesan air yang tidak terkendali. Kapur membantu lapisan tanah yang lebih padat dan tidak mudah ditembus air, mengurangi laju rembesan dan kehilangan air.

c) Meningkatkan stabilitas struktur saluran

Dengan meningkatnya kekuatan tanah melalui proses stabilisasi dengan kapur struktur saluran irigasi menjadi lebih stabil dan tahan terhadap erosi serta tekanan dari aliran air. Ini memperpanjang usia pakai saluran irigasi dan mengurangi biaya pemeliharaan

d) Pencegahan erosi

Di daerah yang rentan terhadap erosi kapur dapat membantu memperkuat tanah dan mengurangi risiko tergerusnya tanah oleh aliran air. Hal ini sangat penting untuk menjaga integritas saluran irigasi terutama di wilayah dengan aliran air yang deras.

e) Meningkatkan daya dukung tanah

Stabilisasi tanah dengan kapur juga berfungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah di sekitar saluran irigasi. Ini berarti tanah mampu menopang beban yang lebih besar baik dari beban aliran air maupun dari berat struktur saluran irigasi itu sendiri. Peningkatan daya dukung ini penting untuk mencegah keruntuhan atau deformasi pada saluran irigasi yang dapat disebabkan oleh tekanan air yang berlebih

3. Mekanisme Kerja Kapur pada Tanah di Saluran Irigasi

Proses stabilisasi tanah dengan kapur melibatkan serangkaian reaksi kimia dan fisik yang mengubah struktur dan sifat tanah. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan kapur dapat meningkatkan kekuatan tanah hingga 200%, serta mengurangi permeabilitas tanah hingga 50% dari kondisi semula. Sebagai contoh studi yang dilakukan oleh Prakash et al. (2020) menunjukkan bahwa tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur mengalami peningkatan modulus elastisitas dan ketahanan terhadap deformasi. Beberapa mekanisme utama yang terjadi saat kapur ditambahkan ke tanah di saluran irigasi adalah sebagai berikut:

a) Pertukaran Ion

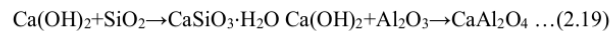
Ketika kapur ditambahkan ke tanah lempung, ion kalsium (Ca^{2+}) dari kapur menggantikan ion-ion natrium (Na^+) dan kalium (K^+) yang biasanya menempati permukaan partikel lempung. Proses pertukaran ion ini menyebabkan partikel lempung menjadi kurang plastis dan lebih stabil, mengurangi kemampuan tanah untuk mengembang atau menyusut akibat perubahan kadar air. Ini menghasilkan tanah yang lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk, cocok untuk mendukung struktur irigasi.

b) Flokulasi dan Penggumpalan

Kapur menyebabkan partikel tanah yang halus mengalami flokulasi, yaitu proses di mana partikel-partikel kecil bergumpal membentuk agregat yang lebih besar. Penggumpalan ini mengurangi permeabilitas tanah dengan mengecilkan ruang antar partikel, sehingga memperlambat aliran air melalui tanah. Proses ini juga meningkatkan kekuatan geser tanah, menjadikannya lebih tahan terhadap gaya erosi dari aliran air.

c) Reaksi Pozzolanik

Reaksi pozzolanik oleh Kamaruddin et al. (2018) adalah reaksi antara kapur hidrat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan silika atau alumina yang terkandung dalam tanah. Reaksi ini menghasilkan senyawa seperti kalsium silikat hidrat (CSH) dan kalsium aluminat hidrat (CAH), yang memiliki sifat pengikat dan memperkuat tanah. Senyawa-senyawa ini bekerja seperti "lem" yang mengikat partikel tanah bersama-sama, menghasilkan tanah yang lebih kuat dan tahan terhadap tekanan air. Reaksi ini berlangsung secara perlahan tetapi memberikan efek jangka panjang pada stabilitas tanah.



d) Pengurangan Plastisitas dan Ekspansi Tanah

Tanah lempung memiliki sifat plastisitas yang tinggi, yang berarti dapat mengalami perubahan volume yang signifikan ketika terjadi perubahan kadar air. Ketika kapur ditambahkan, plastisitas tanah berkurang karena perubahan struktur mineral lempung. Ini mengurangi kemampuan tanah

untuk menyerap air dan mengalami ekspansi atau penyusutan, sehingga mencegah kerusakan pada saluran irigasi yang sering disebabkan oleh pergerakan tanah

2.2.16 Teori Seep-W

Teori SEEP-W adalah bagian dari analisis numerik yang digunakan dalam geoteknik untuk memodelkan aliran air dalam tanah. SEEP-W merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (finite element method) yang dirancang khusus untuk analisis aliran air tanah dalam berbagai kondisi tanah dan struktur. Program ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan berbagai situasi aliran air yang terjadi pada saluran, bendungan, kolam retensi, dan struktur bawah tanah lainnya, baik dalam kondisi jenuh maupun tak jenuh. SEEP-W memungkinkan simulasi yang akurat dan efisien, memberikan wawasan yang sangat berharga untuk desain dan perbaikan sistem pengairan, sistem drainase, serta analisis stabilitas struktur geoteknik.

1. Kondisi Tanah

SEEP-W dapat memodelkan aliran air pada dua kondisi utama tanah yang sering ditemui dalam rekayasa geoteknik, yaitu:

a) Jenuh (*Saturated*)

Pada kondisi jenuh, seluruh pori tanah terisi penuh dengan air. Dalam keadaan ini, tanah berfungsi sebagai media yang sepenuhnya terisi oleh air, yang memungkinkan aliran air dengan kecepatan tinggi melalui tanah. Kondisi ini umumnya ditemukan dalam daerah yang sering terendam air atau di bawah permukaan tanah yang sangat dalam. Dalam SEEP-W, model ini diatur dengan memasukkan parameter permeabilitas tanah yang menunjukkan kemampuannya untuk mengalirkan air.

b) Tak Jenuh (*Unsaturated*).

Pada kondisi tak jenuh, sebagian dari pori tanah terisi udara, sementara sebagian lainnya terisi air. Dalam kondisi ini, pergerakan air lebih kompleks dan tergantung pada tingkat kejenuhan tanah. Permeabilitas tanah tak jenuh sangat dipengaruhi oleh hubungan antara kandungan air dan tekanan air dalam tanah. SEEP-W memungkinkan simulasi aliran air

pada tanah tak jenuh dengan menggunakan fungsi retensi air yang menggambarkan seberapa banyak air yang dapat ditahan dalam tanah pada kondisi kelembaban tertentu.

2. Model Numerik dengan SEEP-W

SEEP-W digunakan untuk melakukan simulasi aliran air dalam struktur yang memiliki geometri kompleks atau pada kondisi tanah yang tak jenuh. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam menggunakan SEEP-W untuk analisis aliran air:

a) Definisikan geometri

Langkah pertama adalah mendefinisikan geometri model, termasuk bentuk saluran, bendungan, kolam retensi, atau struktur lainnya. Model elemen hingga digunakan untuk membagi area yang dianalisis menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dianalisis. Bentuk geometri yang kompleks seperti saluran dengan berbagai lekukan atau bendungan yang memiliki banyak lapisan tanah dapat dimodelkan dengan cukup akurat menggunakan perangkat lunak SEEP-W.

b) Input parameter material:

Setelah geometri didefinisikan, parameter material perlu dimasukkan ke dalam model. Ini termasuk nilai permeabilitas tanah, baik untuk kondisi jenuh maupun tak jenuh, serta hubungan tekanan-air (fungsi retensi air) yang menggambarkan bagaimana kapasitas tanah untuk menahan air bergantung pada tingkat kejenuhan. Pengguna juga harus memasukkan parameter lainnya, seperti kedalaman tanah, sifat fisik tanah, dan karakteristik struktural yang relevan.

3. Aplikasi SEEP-W:

SEEP-W memiliki berbagai aplikasi yang sangat penting dalam bidang rekayasa geoteknik dan hidrologi, antara lain

a) Analisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan kondisi aliran air tanah.

SEEP-W digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng atau tanggul dengan mempertimbangkan kondisi aliran air tanah. Aliran air yang

tidak terkendali atau tekanan air yang tinggi di dalam tanah dapat menyebabkan ketidakstabilan pada lereng, yang pada gilirannya dapat memicu longsor atau keruntuhan. SEEP-W memungkinkan pemodelan tekanan pori dan distribusi aliran air di dalam tanah, yang membantu dalam menilai stabilitas lereng dan merencanakan tindakan pencegahan yang diperlukan

- b) Desain bendungan, kolam retensi, dan sistem drainase.

SEEP-W juga digunakan dalam desain bendungan, kolam retensi, dan sistem drainase. Program ini memungkinkan simulasi aliran air yang lebih realistis dalam struktur bendungan, di mana aliran air dapat berinteraksi dengan berbagai lapisan tanah dan material konstruksi. SEEP-W membantu dalam merancang struktur yang cukup kedap air dan memastikan pengelolaan air yang efisien, serta mencegah potensi kebocoran dan kerusakan struktural

- c) Prediksi rembesan melalui struktur bawah tanah.

SEEP-W digunakan untuk memprediksi rembesan air yang terjadi melalui struktur bawah tanah, seperti pondasi dan saluran drainase. Ini sangat penting dalam proyek yang melibatkan struktur bawah tanah yang berada dalam kontak langsung dengan tanah atau air tanah, di mana kebocoran atau rembesan dapat mempengaruhi stabilitas struktur dan kualitas air yang ada

- d) Studi intrusi air laut ke dalam tanah.

SEEP-W juga digunakan dalam studi intrusi air laut ke dalam tanah di area pesisir. Intrusi air laut dapat merusak kualitas air tanah dan berdampak negatif pada sistem irigasi serta lingkungan sekitar. Dengan SEEP-W, dapat diprediksi sejauh mana air laut akan meresap ke dalam tanah, membantu perencanaan mitigasi dan pengelolaan sumber daya air di daerah pesisir.

4. Hasil yang Diperoleh:

Setelah simulasi dilakukan, SEEP-W menghasilkan sejumlah data dan informasi penting yang berguna dalam merancang dan memperbaiki struktur, antara lain:

a) Distribusi tekanan pori dalam tanah.

SEEP-W menghitung dan menghasilkan distribusi tekanan pori dalam tanah, yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang diterima oleh air dalam tanah di berbagai kedalaman. Informasi ini penting untuk menganalisis risiko keruntuhan atau pergerakan tanah akibat perubahan tekanan air di dalam tanah

b) Pola garis aliran (*flow lines*).

Program ini juga menghasilkan pola garis aliran yang menggambarkan jalur aliran air di dalam tanah. Garis aliran ini memberikan gambaran visual yang jelas mengenai bagaimana air mengalir di dalam sistem tanah, apakah itu mengalir secara vertikal, horizontal, atau dalam pola yang lebih kompleks

c) Besarnya laju rembesan air (*seepage flux*).

SEEP-W dapat menghitung laju rembesan air, yaitu besarnya volume air yang merembes melalui tanah per satuan waktu. Hal ini sangat berguna dalam menilai efisiensi sistem irigasi dan drainase serta untuk merancang perbaikan yang diperlukan guna mengurangi kehilangan air akibat rembesan

d) Posisi muka air tanah

Program ini juga memberikan informasi tentang posisi muka air tanah, yang menunjukkan kedalaman atau tinggi permukaan air tanah dalam suatu area. Ini sangat berguna dalam menentukan kapasitas tanah untuk menyimpan air serta dalam merancang struktur yang membutuhkan pengetahuan tentang level air tanah

2.2.17 Penelitian terdahulu

Adapun acuan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut

Tabel 2.1 penelitian terdahulu sebagai pembandingan dari penelitian ini

No	Judul	Tujuan/	Metode	Hasil
1	Investigasi numerik konfigurasi geometrik yang mempengaruhi rembesan saluran tanah tak berlapis dan perbandingannya dengan pengukuran lapangan, VOL.14, 236–253 Hosseinzadeh R, 2020	Dalam penelitian ini, simulasi numeric diterapkan untuk menentukan factor rembesan efektif saluran tanah	Model termasuk berbagai bagian trapesium, persegi panjang, dan segitiga yang diimplementasi kan dalam perangkat lunak SEEP/W. Efek dari konduktivitas hidrolik tanah digunakan dalam model numerik	Hasil penelitian menunjukkan bahwa, untuk simulasi numerik, diperlukan lebar 15 kali lebih lebar dari lebar permukaan air di saluran untuk permodelan batas lateral kiri dan kanan. Perbandingan rembesan dengan hubungan empiris menunjukkan bahwa empiris hubungan tersebut mempunyai kesalahan estimasi yang terlalu besar, namun koefisien moritz dengan hubungan determinasi (R^2) sebesar 0,373 lebih baik dari yang lain.
2	Investigasi numerik pada konfigurasi geometris yang mempengaruhi rembesan dari saluran tanah tak bergaris	Laju umur rembesan dapat dikembangkan untuk menghitung		Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perbandingan rembesan dengan hubungan empiris menunjukkan bahwa hubungan empiris

	dan perbandingannya dengan pengukuran lapangan (Reza Hosseinzadeh Asl, Farzin Salmasi & Hadi Arvanaghi, 2020)	kehilangan rembesan saluran selama musim irigasi atau sepanjang tahun		memiliki terlalu banyak kesalahan dalam estimasi rembesan, namun hubungan Moritz dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,373 lebih baik dari yang lain.
3	Menggunakan ADCP untuk menentukan kehilangan rembesan kanal pada irigasi (Dietrich Kinzli Kristoph, etc 2010)	Menentukan rembesan saluran menggunakan teknologi baru ini terbatas	Menggunakan ADCP, pengukuran lapangan luas dilakukan di Central Rio Besar Konservasi Daerah	Pengukuran ADCP Protokol yang digunakan untuk menyajikan rembesan mengukur kanal dan persamaan irigasi prediksi untuk menentukan rembesan saluran berdasarkan laju aliran dan geometri saluran.
4	Pengukuran dan analisis lapangan kehilangan air pada tingkat utama dan tersier saluran irigasi : skema irigasi Varamn, Iran. (<i>Global Ecology and Conservation</i> , Mohammadi, 2019)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja penyaluran air di semua tingkat saluran dan melakukan analisis mendalam tentang masalah kehilangan air di skema irigasi	Jumlah kehilangan air pada daerah-daerah tersebut dihitung dengan metode aliran masuk-keluar. Dengan cara ini semua kehilangan penangkutan air, termasuk kehilangan air.	Oleh karena itu, data udara yang terekam di lebih dari 40 titik terpilih dari saluran utama, sekunder, dan tersier dianalisis. Penggunaan meteran aliran ultrasonic dalam penelitian ini memberikan presisi yang tepat untuk menentukan kehilangan rembesan dan efisiensi penangkutan air.

		melalui studi kasus.		
5	Pengaruh struktur autokorelasi spasial permeabilitas terhadap rembesan melalui tanggul pada pondasi tanah (<i>Computers and Geotechnics</i> , Lei-Lei, 2017)	untuk mengkarakterisasi variasi spasial dari permeabilitas	Pengaruh autokorelasi struktur permeabilitas spasial terhadap rembesan melalui tanggul pada pondasi tanah	Hasilnya menunjukkan bahwa ACF SQX dan SNX yang umum digunakan mungkin masing-masing melebihi dan meremehkan laju aliran rembesan. Diketahui juga bahwa gradien keluar maksimum terkait dengan SNX ACF lebih besar daripada yang diperoleh dengan menggunakan empat ACF lainnya
6	Pemodelan pengaruh geometri drainase hilir terhadap rembesan melalui bendungan tanah (<i>Ain Shams Engineering Journal</i> , Refaiy, 2021)	menyelidiki pengaruh geometri drainase hilir terhadap rembesan melalui bendungan tanah homogen yang didirikan di atas pondasi	Model eksperimen tangki permeabilitas dan model numerik SEEP2D digunakan dalam penelitian ini.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter geometri saluran drainase hilir yang paling efektif adalah panjangnya, sedangkan tinggi dan sudutnya tidak berpengaruh. Peningkatan panjang saluran drainase akan meningkatkan debit rembesan dan jarak antara

		kedap air		garis freatik dan muka hilir serta mengurangi tekanan air pori sehingga lebih aman.
7	Analisis rembesan pada bendung tipe urugan melalui uji hidrolid laboratorium FT UNSRI (Fajar, 2016)	Menganalisis hubungan antara ukuran butiran tanah dengan kecepatan rembesan pada bendung	Penelitian ini dimulai dengan pekerjaan persiapan tanah, uji analisa saringan, uji konduktivitas hidrolik, pembuatan model serta <i>running</i> pemodelan di Laboratorium. Data yang dianalisis berupa pengamatan garis <i>freatis</i> yang akan digunakan untuk menghitung kecepatan aliran.	Berdasarkan kurva gradasi diatas maka ukuran butiran efektif (D10) yang akan perhitungan koefisien rembesan selanjutnya 0,33 mm. Kecepatan pada konstruksi yang menggunakan <i>filter</i> kecepatannya lebih besar karena pada dasarnya bahan <i>filter</i> ini memiliki permeabilitas yang cukup untuk mengizinkan kecepatan drainase yang besar dari air yang masuk <i>filter</i>

8	Analisis Rembesan Pada Bendungan Cengklik Menggunakan Metode <i>Resistivitas</i> Konfigurasi <i>Schlumberger</i> Dan Uji Permeabilitas Untuk Menghitung Debit Rembesan (Fajar waskito, 2016)	Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menganalisis lapisan zona rembesan di bendungan tersebut dan menghitung jumlah debit rembesannya. semuanya.	Metode <i>resistivitas</i> merupakan salah satu metode geofisika yang dimanfaatkan untuk mengetahui struktur batuan di bawah permukaan bumi dari nilai tahanan jenisnya. Penelitian ini menggunakan metode <i>resistivitas</i> dengan konfigurasi <i>Schlumberger</i>	Perhitungan dan pemodelan menggunakan <i>software</i> IP2WIN menghasilkan gambaran model 3D dengan menggunakan <i>software</i> RockWork 15, hasil model diinterpretasikan lithologi batuanannya dengan validasi informasi geologi. Terdapat lapisan zona rembesan pada lapisan tuffa yang jenuh air, dan didapatkan hasil pengukuran debit rembesan dengan menggunakan <i>software</i> Slide 6.0 sebesar 9,4576 x 10-5 m3/s.
9	Analisis Efisiensi Pemberian Air Di Jaringan Irigasi Karau Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah (Agus Sumadiyono)	Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui besarnya kehilangan air dan pemborosan	Pengambilan data luas penampang basah saluran ,Pengambilan data debit dan kecepatan aliran di	Hasil studi analisis efisiensi yang telah dilakukan, diperoleh rata-rata nilai efisiensi sebesar 81,06 % untuk saluran sepanjang 2.900 meter di Saluran Primer Karau Kiri dan rata-rata sebesar 89,91

		penggunaan air di saluran pembawa pada jaringan DI.Karau.	saluran. ,Analisis data kecepatan aliran di saluran menjadi data debit. ,Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui efisiensi saluran	% untuk saluran sepanjang 900 meter di Saluran Sekunder Moloh, rata-rata sebesar 89,55 % untuk saluran sepanjang 900 meter di Saluran Sekunder Batu Putih.
10	A comparative technical study to estimate seepage water from irrigation canals in Middle Egypt (Case study: El-sont) (Jurnal Rekayasa Ain Syams, Mohamed, 2022)	Studi ini bertujuan untuk memilih persamaan rembesan yang cocok untuk tanah Mesir, iklim, dan sistem irigasi terdistribusi yang saat ini digunakan. Juga untuk menilai jaringan pengganti dengan	Sistem irigasi yang digunakan di daerah penelitian adalah sistem irigasi tradisional dengan persamaan Manning. Jaringan irigasi dibagi menjadi tiga rotasi: A, B, dan C (lima hari kerja dan sepuluh hari libur). Rotasi	Hasil menunjukkan bahwa dengan menggunakan hubungan yang disarankan oleh Nazir Ahmed dan persamaan India, memberikan jumlah rembesan maksimum untuk seluruh jaringan kanal El-Sont dengan sekitar 21,5% dari total debit kepala kanal. Sebagian besar air yang hilang ini dapat diselamatkan karena pelaksanaan proyek nasional untuk pelapisan saluran irigasi. Air yang diawetkan dalam jumlah

		memperkirakan jumlah air yang hilang akibat rembesan dengan menggunakan dimensi penampang air yang dirancang dan membandingkan hasilnya dengan yang diperoleh dengan menggunakan dimensi lapangan yang ada	irigasi pertama (A) dimulai dari hulu dan berakhir pada km 7,58. Rotasi kedua (B) membentang dari km 7,58 sampai km 15,94. Rotasi ketiga (C) membentang dari 15,94 km hingga kanal. terminal	besar ini dapat digunakan untuk mengairi 15% dari area yang dilayani saat ini.
11	Model numerik tiga dimensi yang digabungkan sepenuhnya untuk memperkirakan rembesan saluran dengan retakan dan lubang pada kerusakan lapisan saluran (Xudong, 2021)	Untuk menghitung lapisan beton hanya dengan model kontinu yang setara dan jarang tentang geomembran dan cocok untuk menghitung	Media berpori dan zona retak secara implisit digabungkan dalam ruang dan waktu melalui aliran pertukaran antara beton dan zona retak di mana head	Model yang diusulkan dikalibrasi dan divalidasi oleh hasil uji tambak yang dilakukan pada saluran dengan empat perlakuan lapisan dan percobaan tambahan, yang menunjukkan bahwa model tersebut sangat cocok dengan percobaan. Model diterapkan pada

		kehilangan rembesan dari kanal dengan lapisan yang rusak	terintegrasi dalam persamaan matriks tunggal. Area domain dibagi menjadi dua area subdomain oleh geomembrane. Untuk dua area subdomain, permukaan kedua sisi dalam geomembran diperlakukan sebagai dua batas fluks	analisis sensitivitas dengan memvariasikan parameter model. Model tersebut terbukti mampu mensimulasikan rembesan saluran yang dilapisi oleh lapisan beton dan geomembran dengan retakan dan lubang yang berbeda.Ks) dari geomembran,Ksdari beton, danKslapisan tanah yang berdekatan dengan dasar saluran.
13	Rembesan air tanah menyebabkan limpasan permukaan dan erosi selama pencairan salju di daerah tangkapan pertanian yang dikeringkan dengan ubin: Pengamatan lapangan dan analisis pemodelan (Joris, 2022)	mengungkapkapa n bahwa volume air yang besar tiba-tiba keluar pada akhir musim pencairan salju	Pengamatan lapangan dan fotografi UAV mengungkapkapa n bahwa volume air yang besar tiba-tiba keluar pada akhir musim pencairan salju	Hasil pemodelan MODFLOW menunjukkan peristiwa rembesan air tanah skala besar yang serupa seperti yang diamati di lapangan. Kecocokan temporal dari rembesan air tanah inisiasi hampir tepat, dan luas spasialnya juga serupa. Ini menggarisbawahi gagasan

				bahwa ambang batas dicapai di bawah permukaan dengan penambahan berulang air dari curah hujan dan pencairan salju selama periode 1,5 bulan (Februari – Maret). Melewati ambang batas berarti permukaan air berpotongan dengan titik-titik pernak-pernik di topografi, yang menyebabkan rembesan air tanah. Tanpa masukan air terakhir (pencairan tutupan salju setinggi 15 cm), peristiwa ini tidak akan terjadi menurut model air tanah. Dalam kasus curah hujan yang signifikan dan tidak ada sumber air lain (56 mm dalam 3 hari), model tersebut menunjukkan bahwa input air terlalu rendah untuk menyebabkan
--	--	--	--	--

				rembesan.
14	Efisiensi irigasi berdasarkan kondisi saluran di daerah irigasi Punggur Utara (Dwi, 2020)	untuk mengetahui kondisi fisik saluran sekunder di BF 3 sampai dengan BF 5 dan nilai efisiensi yang tercapai, serta untuk mengetahui besar kehilangan air akibat faktor rembesan, evaporasi dan faktor lainnya	mengidentifikasi serta mengetahui sistem kerja yang dapat digunakan mengenai teori-teori yang berkaitan dengan pokok permasalahan. Survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data primer dengan cara melakukan pengukuran langsung menggunakan alat <i>current meter</i> . Selain itu agar mengetahui secara terperinci keadaan di lapangan,	kerusakan pada saluran BF 3 – BF 4 termasuk dalam kategori rusak ringan dengan efisiensi rata – rata yang tercapai sebesar 97,41%. Persentase kehilangan air pada saluran BF 3 – BF 4 akibat faktor rembesan sebesar 53,74%, faktor evaporasi sebesar 0,69% dan faktor lain – lainnya sebesar 46,57%. Sedangkan kondisi pada saluran BF 4 – BF 5 termasuk ke dalam kategori baik dengan efisiensi yang tercapai sebesar 87,44%. Persentase kehilangan air pada saluran BF 4 – BF 5 akibat faktor rembesan sebesar 27,85%, faktor evaporasi sebesar 0,78% dan faktor lain – lainnya sebesar 71,37%.

			kegiatan manusia, situasi sosial dan kontak kegiatan. Data yang diperoleh bersifat deskriptif dan faktual. Data sekunder berupa data curah dan klimatologi tahun 2018 yang bersumber dari Stasiun Meteorologi Radin Inten II. Setelah semua data terkumpul langkah selanjutnya adalah menganalisis kondisi saluran, efisiensi saluran dan kehilangan air	
15	Tinjauan Kehilangan	untuk	Jenis penelitian	Hasil penelitian yang telah

	Air Pada Saluran Primer Irigasi Kampili Kabupaten Gowa, (Muhammad, 2019)	mengetahui kehilangan air di saluran primer daerah irigasi kampili, serta menghitung nilai efisiensi penyaluran air pada saluran primer.	ini menggunakan penelitian secara langsung di lokasi dengan mengambil data primer dan sekunder	dilakukan, diperoleh rata-rata nilai efisiensi sebesar 81,06 % untuk saluran sepanjang 2.900 meter di Saluran Primer Kiri dan rata-rata sebesar 89,91 % untuk saluran sepanjang 900 meter di Saluran Sekunder, rata-rata sebesar 89,55 % untuk saluran sepanjang 900 meter di Saluran Sekunder Kampili. Berdasarkan studi ini efisiensi Jaringan Irigasi Kampili perlu ditingkatkan agar mencapai efisiensi yang ditetapkan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi yaitu untuk Saluran Primer Efisiensinya 90 % dan di Saluran Sekunder efisensinya 90 %.
16	Optimasi Rencana Tanam Dan Pemberian Air Irigasi Menuju Modernisasi Irigasi Di Daerah Irigasi Ciliman (Jurnal I R I G A S I Vol. 15 No. 2 , Susilowati,dkk, 2020)	untuk meningkatkan produktivitas hasil pertanian khususnya komoditas padi dan palawija. Produktivitas	Metode penelitian menggunakan data primer dandata sekunder	Optimasi rencana tanam dilakukan dengan memaksimalkan keandalan pemberian air irigasi. Pola tanam yang direkomendasikan adalah 100% padi ditanam di musim tanam I, 100% padi

		padi dan palawija dipengaruhi oleh kinerja irigasi, baik itu infrastruktur maupun pengelolaan irigasi. Pengelolaan operasi jaringan irigasi di DI Ciliman masih belum optimal akibat tidak adanya operasi dalam mengatur jumlah air yang masuk di setiap sadap, sehingga menyebabkan air masuk berlebihan di hulu sedangkan di hilir sering kali tidak mendapatkan air		ditanam di musim tanam II, dan 27,47% palawija (kedelai) ditanam di musim tanam III. Pemberian air dibagi menjadi 3 golongan dengan jadwal tanam untuk dimulai pada bulan November periode ke-1, musim tanam II dimulai pada Maret periode ke-1, dan musim tanam III dimulai pada bulan Juli periode ke-2. Dengan kenario ini, terjadi peningkatan indeks pertanaman dimana awalnya pada rencana tanam eksiting sebesar 199,7 (keandalan 83%) menjadi 213,7 (keandalan 100%)
--	--	---	--	---

Menggunakan lapisan geomembran untuk mengurangi rembesan melalui dasar tumpukan tailing Sebuah tinjauan dan persiapan untuk pedoman desain (Tuomela,2021)	Diperlukan informasi yang lebih praktis dan pengetahuan ilmiah tentang penggunaan base liner dalam berbagai kasus. Pendekatan yang berkelanjutan dapat berupa desain berbasis risiko, di mana siklus hidup cekungan dipertimbangkan.	Pedoman perencanaan yang kohesif atau arahan legislatif untuk struktur seperti itu saat ini kurang tersedia di banyak negara, yang sering kali berarti bahwa pedoman struktur untuk perlindungan air tanah atau penimbunan sampah diterapkan saat merancang fasilitas penyimpanan tailing (TSF).	Manajemen proyek yang lebih holistik dan keterlibatan serta integrasi awal direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas konstruksi selama seluruh siklus hidup kolam. Dalam jangka panjang, penggunaan penumpukan kering atau metode alternatif lainnya harus didorong, meskipun biaya yang dikeluarkan operator lebih tinggi.
Studi Perbandingan Desain Inti Bendung Dengan Pemakaian Material Alternatif Untuk Optimasi Biaya Studi Kasus: Proyek Bendungan Tapin, Banjarmasin,	Dalam rangka mendapatkan ukuran zona inti bendung yang optimal, dibuat 5 alternatif desain yang		Hasil perhitungan menunjukkan bahwa geomembrane dapat menurunkan nilai rembesan rata rata hingga 89%. Disamping itu, diperoleh efisiensi biaya sebesar 27,53% apabila

	Kalimantan Selatan (Sutresno,2022)	kemudian dianalisa dengan bantuan software SEEP/W dan SLOPE/W		material galian spillway dipakai sebagai pengganti material lempung untuk bendung inti.
--	---------------------------------------	---	--	---

Sumber : Penelitian terdahulu

Penelitian ini dititikberatkan pada menganalisis kehilangan air akibat rembesan serta penganannya dengan melakukan modifikasi campuran tanah dan kapur pada daerah batu bulan sehingga dapat merekomendasikan pola tanam areal pertanian sesuai kebutuhan efisiensi air irigasi

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan waktu penelitian

Bendungan Batu Bulan terletak di Kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat sekitar 18 km sebelah tenggara ibu Kota Kabupaten Sumbawa Besar. Bendungan Batu Bulan secara geografis terletak pada 117° 28' 43" BT dan 8° 36' 34" LS.



Gambar 3.1 Gambar lokasi penelitian (*google eart*)

Penelitian akan dilakukan di jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan. Penelitian ini akan mengembangkan riset untuk menghitung kehilangan air tingkat, Efisiensi kebutuhan air, Campuran tanah ditambah kapur (4%, 6%, 8%, 10%, 12), model rembesan menggunakan program Seep-W. Waktu penelitian diperkirakan selama 1 tahun dengan mengambil data primer dan data sekunder untuk mengembangkan model tingkat pengurangan rembesan air saluran.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan data sekunder yang meliputi :

1. Data primer

Data primer merupakan pengukuran luasan daerah jaringan irigasi yang akan diteliti. Data primer diperoleh dari survey lapangan di Kabupaten Sumbawa seperti kondisi existing jaringan, debit air dan data tanah

2. Data sekunder.

Data sekunder adalah data yang di dapat dari instansi terkait seperti data topografi, Data luas daerah irigasi dan data teknis bendungan

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Secara Umum, alat dan bahan yang digunakan dalam menunjang penelitian ini berupa : *current meter*, meter roll, *stopwatch*, mistar ukur, tali rafia.

3.3.1 Pengukuran ketinggian muka air

Adapun tahapan dalam pengukuran ketinggian muka air adalah

- a) Tentukan lokasi pengamatan.
- b) Ukur dimensi saluran (lebar atas, lebar dasar saluran, kemiringan talud dan keliling basah).
- c) Pemasangan tali yang telah ditandai dengan ruas-ruas yang sesuai dengan titik pengamatan.
- d) Bentangkan tali tersebut tegak lurus dengan arah aliran saluran.
- e) Siapkan alat *current meter* dan mulai mengukur aliran sesuai dengan kedalaman dan jumlah titik yang telah ditentukan.
- f) Catat kedalaman dan pembacaan alat *current meter* di tiap-tiap titik pengamatan



Gambar 3.2 Pengukuran Ketinggian Muka Air

3.3.2. Pelaksanaan penelitian aliran rembesan pada saluran.

penentuan aliran air pada arah rembesan terdiri dari tahapan sebagai berikut:

- a) Pembuatan sistem penanganan rembesan saluran pasangan batu kali yang telah ditentukan dengan material pasir kapur.
- b) Mengatur aliran air yang masuk dari saluran sehingga didapatkan ketinggian air dalam keadaan konstan
- c) Mengamati pola dan gerakan air pada saluran dimulai setelah air meresap kedalam saluran dan melewatinya dengan waktu tempuh yang berbeda-beda
- d) Pengambilan data waktu aliran yang terjadi

3.3.3. Uji Laboratorium Tanah dengan penambahan Campuran Tanah dan Kapur (4%, 6%, 8%, 10%, 12%)

Uji tanah dilakukan untuk mengukur pengaruh penambahan kapur terhadap permeabilitas dan kekuatan tanah. Prosedur pengujian dilakukan di laboratorium dengan tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari lokasi penelitian, dikeringkan, dan dicampur dengan kapur sesuai variasi (4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%).

2. Pencampuran Tanah dengan Kapur

Tanah dicampur dengan kapur menggunakan metode *mechanical mixing* untuk memastikan distribusi kapur yang merata. Campuran tanah-kapur didiamkan selama 24 jam untuk memastikan reaksi kimia yang terjadi antara kapur dan tanah.



Gambar 3.3 Timbangan Campuran Komposisi Tanah

3. Uji Permeabilitas Tanah

Pengujian menggunakan metode *falling head* untuk mengukur laju aliran air melalui tanah dan kapur. Hasilnya dianalisis untuk menentukan koefisien permeabilitas (k).



Gambar 3.4. Uji permeabilitas tanah menggunakan *falling head*



Gambar 3.5. Uji permeabilitas tanah *falling head*

3.4 Metode analisis

Hasil penelitian ditentukan oleh jumlah kualitas dan kuantitas data yang dipergunakan. Penelitian ini menggunakan beberapa metode yang disesuaikan jenis dan tujuan masing-masing kegiatan diantaranya analisis tingkat rembesan air dan analisis permeabilitas tanah.

3.4.1. Analisis debit air pada saluran

Adapun tahapan dalam pengukuran analisis pengolahan data yang digunakan dalam studi ini antara lain :

- 1) Pengukuran debit.
- 2) Analisa perhitungan debit saluran dari data kecepatan air di saluran.

- 3) Menganalisis debit di hulu dan hilir saluran yang ditinjau untuk mengetahui efisiensinya.
- 4) Skenario penanggulan pengurangan kehilangan air.
- 5) Besar kehilangan air
- 6) Letak penggunaan *curen* meter

Pengukuran debit dapat dilaksanakan secara langsung ataupun secara tidak langsung. Pengukuran debit secara langsung dilakukan dengan memakai bangunan ukur ambang lebar sehingga debit dapat langsung dibaca. Sesuai dengan data dari lapangan, bangunan ukur yang ada adalah bangunan ukur ambang lebar yang ada di saluran kanan. Pengukuran secara tidak langsung dilakukan dengan mengukur kecepatan air di saluran dan menentukan luas penampang basah. Debit dihitung berdasarkan pengukuran data di lapangan dengan memakai *Current* Meter untuk mendapatkan data kecepatan air di saluran.



Gambar 3.6. Uji kecepatan aliran

3.4.2. Mencari efisiensi tiap segmen pada saluran irigasi

Analisis efisiensi irigasi dilakukan untuk melihat seberapa besar kemampuan saluran untuk mengalirkan air, berdasarkan jenis salurannya untuk kehilangan air pada setiap saluran (ΔQ) kemudian dilakukan analisis seberapa besar kemampuan saluran tersebut untuk mengalirkan air pada jaringan irigasi batu bulan dengan kondisi eksisting. Analisis Optimasi dilakukan untuk melihat perbandingan antara kondisi eksisting dan kondisi setelah perubahan untuk mendapatkan pola tanam untuk setiap musim tanam dengan jumlah yang berbeda sehingga memberikan hasil yang

optimum yang bertujuan untuk meningkatkan hasil produksi pada daerah irigasi bendungan batu bulan

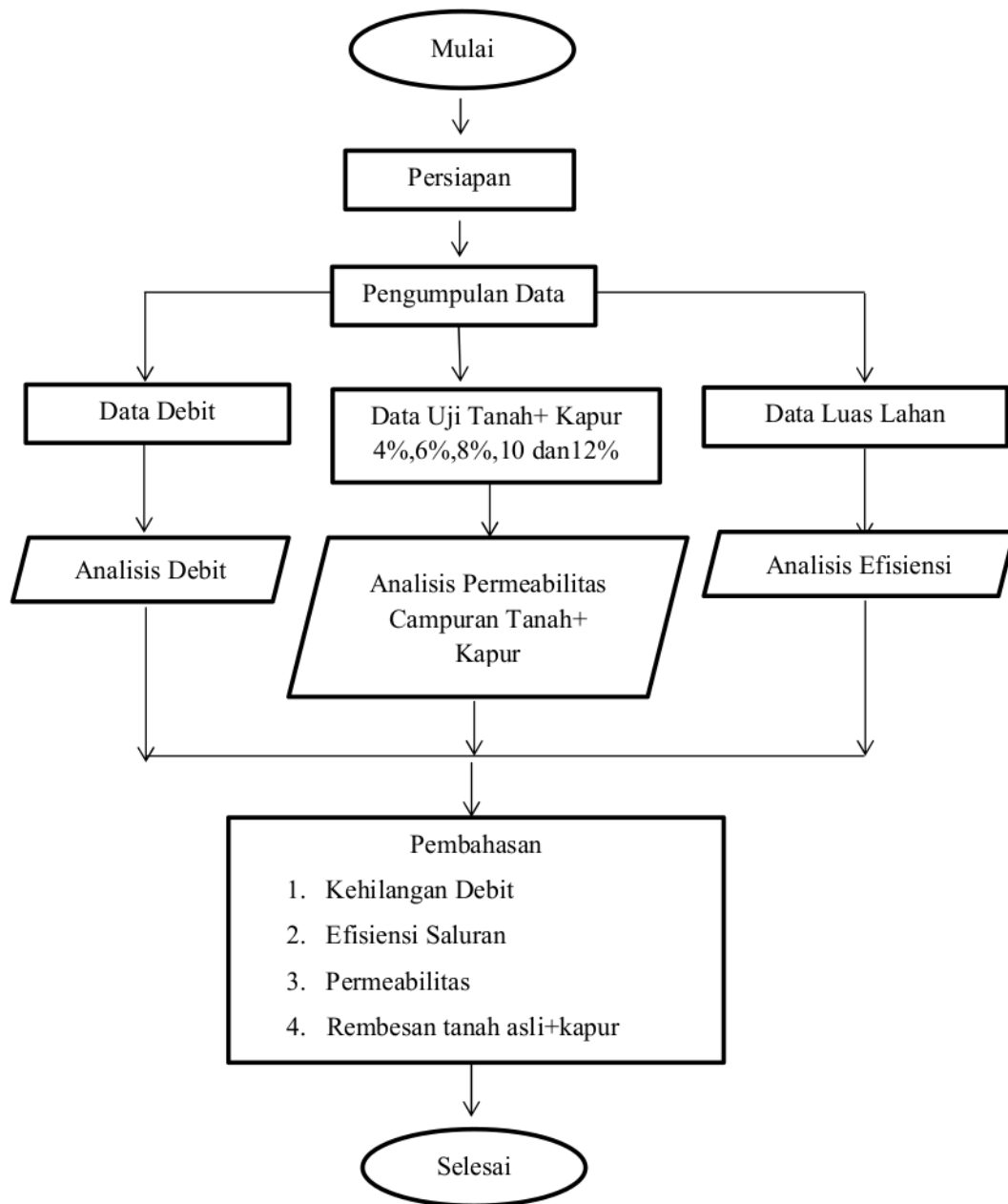
3.4.3. Tahapan Uji tanah+kapur 4%,6%,8%,10% dan12%

Sampel tanah diambil dari lokasi penelitian, dikeringkan, dan dicampur dengan kapur sesuai variasi (4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%). Tanah dicampur dengan kapur menggunakan metode *mechanical mixing* untuk memastikan distribusi kapur yang merata. Campuran tanah-kapur didiamkan selama 24 jam untuk memastikan reaksi kimia yang terjadi antara kapur dan tanah

3.4.4. Tahapan analisis rembesan dengan program Seep-W

1. Input data saluran
2. Mengisi material pada saluran
3. Mengisi draw material tanah
4. Mengisi *draw boundary conditions*
5. Mengisi garis drainasi pada saluran
6. Mengisi draw material dan *draw boundary conditions*
7. Analisis program seep-w dengan arah rembesan
8. Gambar arah rembesan dengan arsiran

3.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.7 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

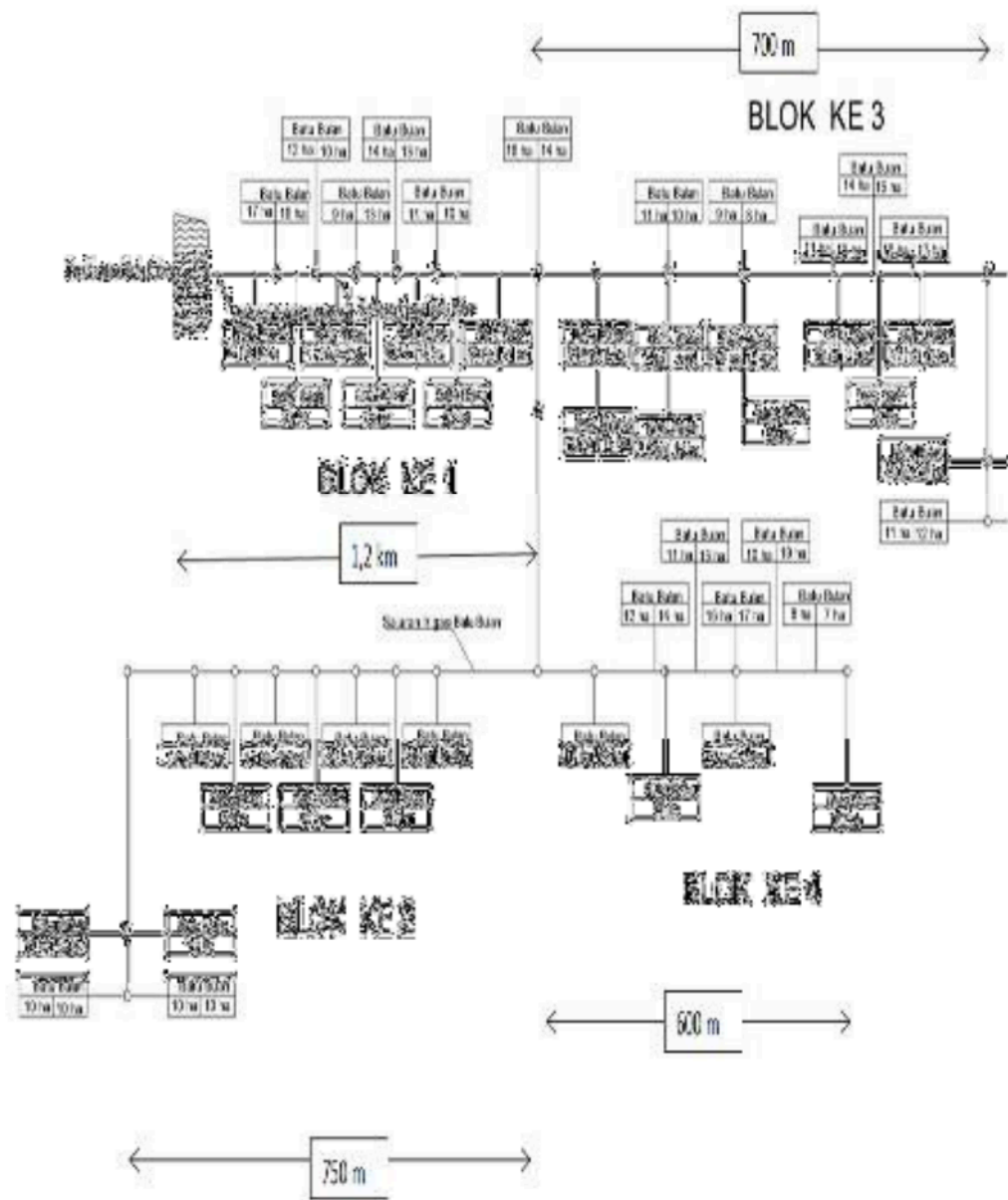
ANALISIS DATA DAN HASIL ANALISIS

4.1 Hasil Penelitian

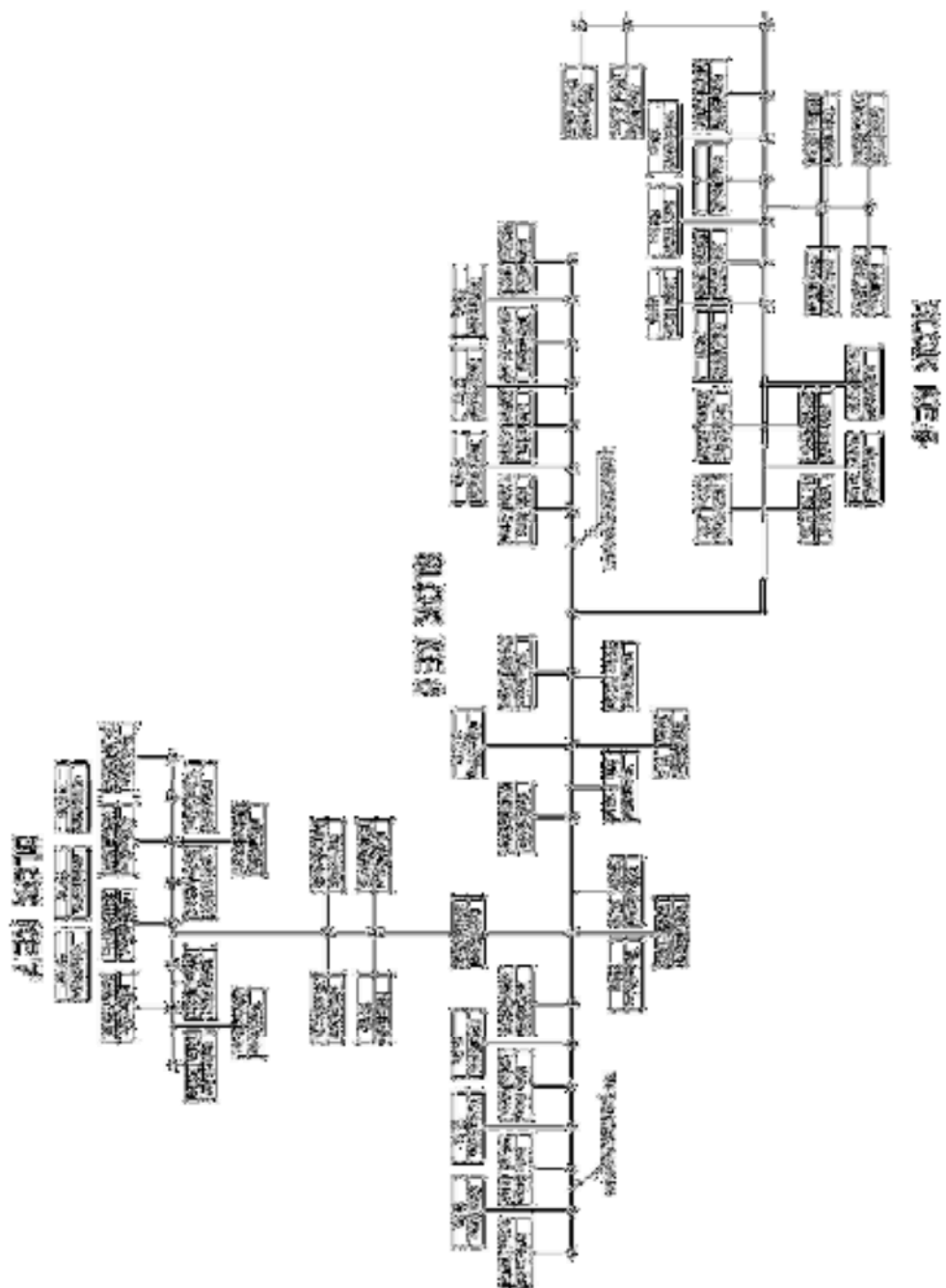
4.1.1 Diskripsi umum bendungan batu bulan

Bendungan Batu Bulan merupakan proyek dalam kerangka SSIMP III (*Small Scale Irrigation Management Project*) yang didanai oleh *Japan Bank for International Cooperation* (JBIC) dengan tujuan untuk perluasan daerah pertanian beririgasi teknis dan sekaligus meningkatkan intensitas tanam. Bendungan Batu Bulan terletak di Kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat sekitar 18 km sebelah tenggara ibu kota Kabupaten Sumbawa Besar. Bendungan Batu Bulan secara geografis terletak pada 1170 28' 43" BT dan 8036'34" LS dengan data teknis bendungan batu bulan

Adapun skema jaringan irigasi bendungan dengan panjang 5 km dapat disajikan dalam gambag dibawah ini



Gambar 4.1 Sekema Jaringan Irigasi Bendungan Batu Bulan, 2009

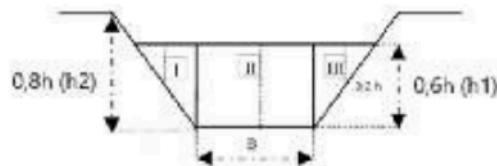


Gambar 4.2 Sekema Jaringan Irigasi Bendungan Batu Bulan, 2009

4.2 Analisis Data Lapangan

4.2.1. Data Pengukuran Kecepatan Aliran

Setelah mendapatkan hasil pengukuran berupa nilai kecepatan sebanyak tiga kali pengukuran pada satu penampang yang sama, kemudian di rata-rata untuk mendapatkan satu nilai kecepatan pada setiap segmen yang diukur. Nilai kecepatan tersebut kemudian dikalikan dengan luasan penampang basah masing-masing blok untuk mendapatkan nilai debit sesaat pada setiap blok dimana pada setiap pengukuran diukur juga tinggi air pada masing-masing penampang untuk dapat menghitung luas penampang basah pada setiap saluran. Hasil perhitungan debit blok 1 dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah ini



Gambar 4.3 kedalaman saluran yang diukur dengan 3 pias

Gambar diatas menunjukkan dimensi yang diukur dilapangan selama 1 minggu yang dilakukan tiap blok

Tabel 4.2 Pengambilan data kecepatan aliran blok ke 1

Kedalaman Saluran Blok 1	Pengukuran Kecepatan (m/det)		
	Pias 1	Pias 2	Pias 3
0,2h	0,3	0,4	0,3
	0,2	0,3	0,2
	0,3	0,3	0,2
0,6h	0,3	0,4	0,3
	0,2	0,3	0,2
	0,3	0,3	0,2
0,8h	0,3	0,3	0,2
	0,2	0,3	0,1
	0,2	0,3	0,2

Sumber : Analisis kecepatan aliran, 2024

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-1 sampai dengan blok ke 7. Berikut data lapangan Blok ke 1 dengan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini

Tabel 4.3 Luas penampang basah blok ke 1

Waktu	b (m)	h1(m)	h2 (m)	A (m ²)
Pagi	2,20	1,51	1,83	7,470
Siang	2,20	1,51	1,80	7,470
Sore	2,20	1,51	1,82	7,470
Rata-rata				7,470

Sumber : Analisis dimensi saluran, 2024

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 1 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 7,470 m²

4.2.2 Perhitungan kehilangan debit air

Analisis kehilangan air dilakukan dengan menghitung perbedaan debit air di hulu dan hilir saluran irigasi. Debit air yang diukur pada beberapa segmen saluran menunjukkan berapa banyak air yang hilang sepanjang saluran akibat rembesan dan penguapan. Pengukuran dilakukan menggunakan current meter, dan debit air dihitung berdasarkan kecepatan aliran dan luas penampang basah

4.2.3. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah Asli

Diameter sampel (D)	6,5 cm
Panjang Sampel (L)	10,7 cm
Volume Tabung	354,88 cm ³
Berat Tabung (W1)	128,73 gr
Berat Tabung+tanah (W2)	608,3 gr
Berat Tanah	479,57 gr
Bulk Density	1,35 gr/cm ³
Kadar air sebelum uji (w1)	8,19 %
Dry density (gd)sebelum uji	1,25 gr/cm ³
kadar air setelah uji (w2)	26,15 %

Dry density (gd) setelah uji	1,07 gr/cm ³
Diameter buret (a)	1,7 cm
Ketinggian head awal (h1)	100 cm
Luas Tabung Sampel	33,17 cm ³

Adapun data koefisien permeabilitas lapangan dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini

Tabel 4.4 Koefisien permeabilitas tanah asli

No	t (dt)	T ⁰	h2	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	120	25	30	53	0,00550
2	120	25	30	68	0,00550
3	120	25	30,6	67	0,00541
4	120	25	30,6	68	0,00541
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00546
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00484

Sumber : Analisis hasil laboratorium,2024

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C adalah 0,00484 cm/det

4.2.4. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 4%

Tabel 4.5 Koefisien permeabilitas Tanah variasi kapur 4%

Luas potong melintang buret (a=1/4pd ²)	cm ²	0,785	0,785
Luas potong melintang sampel (A=1/pD ²)	cm ²	32	32
Tinggi puncak hidrolik (h)	Cm	28	28,7
Panjang sampel (L)	Cm	9	9
Waktu pengujian (t)	menit	30	30
Temperatur (T)	°C	89	89
Volumeair yang terkumpul (Q)	cm ³	35	33
Koefisien permeabilitas (QL/hAt)	cm/det	0,0039	0,0037
Koefisien permeabilitas rata-rata	cm/det	0,0038	

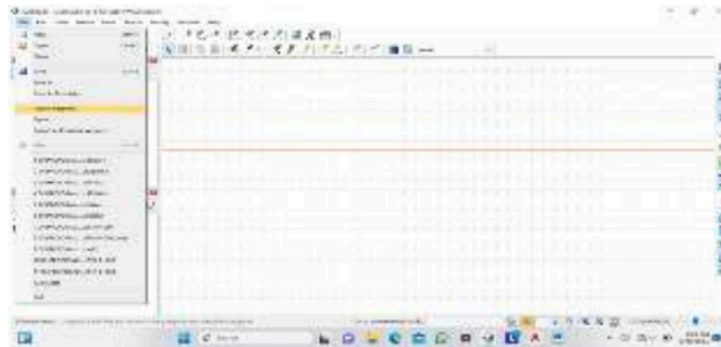
Sumber : Analisis hasil laboratorium,2024

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas rata-rata adalah 0,0038
cm/det

4.3 Tahapan Analisi pada Proram SEEP/W

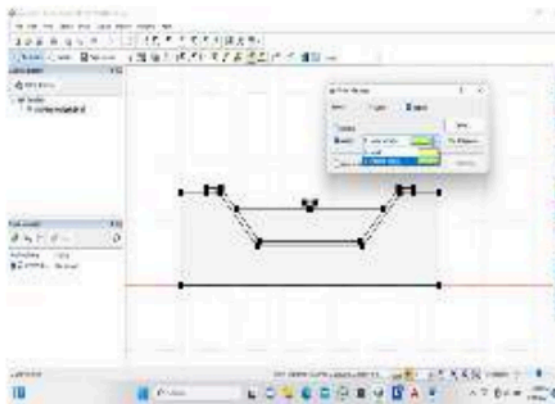
Berikut tahapan analisis dengan menggunakan program SEEP/W

1. Tahap pertama mengimput data saluran yang akan di analisis dengan program SEEP/W yang telah di gambar dengan autocad.



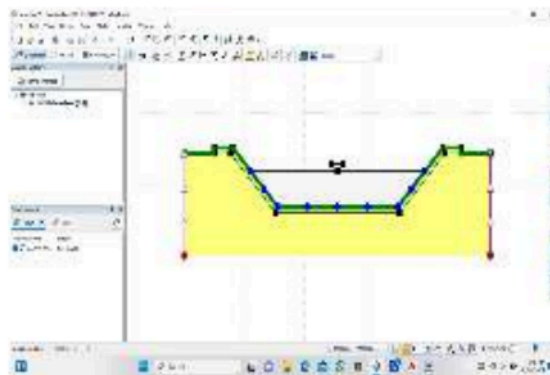
Gambar 4.4. Menginput data dari input region

2. Mengisi material yang terdapat pada saluran dengan mengklik *Draw Materials*



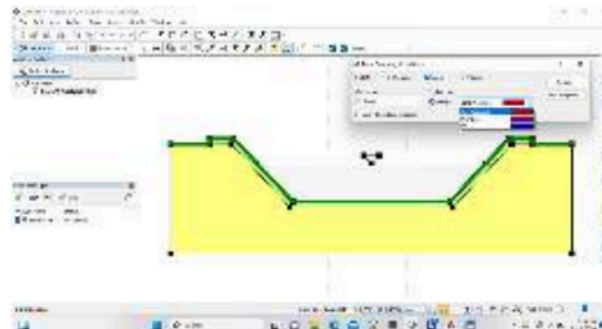
Gambar 4.5. *Draw materials* seperti material tanah dan material beton

3. Setelah mengisi *draw materials* kemudian mengarsir material material tersebut seperti material tanah dan material beton yang tersapat pada saluran



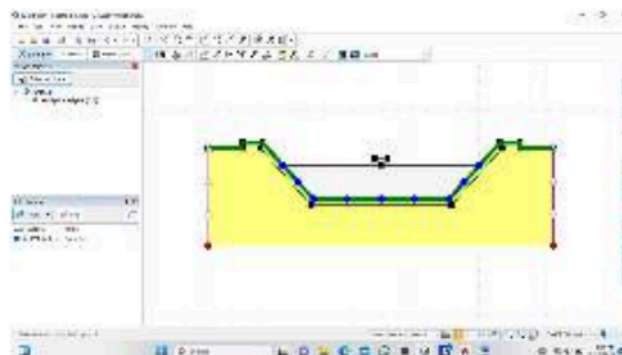
Gambar 4.6. Arsiran tanah dan material beton

4. Kemudian mengisi *Draw Boundary Conditions* yang ada pada saluran



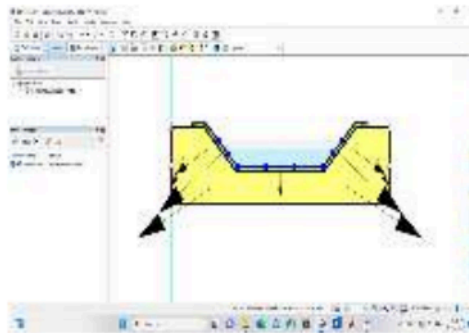
Gambar 4.7. Kemudian mengisi *Draw Boundary Conditions*

5. Selanjutnya mengisi garis drainase pada pinggir saluran, *zero pressure* pada titik nol(0) saluran dan muka air



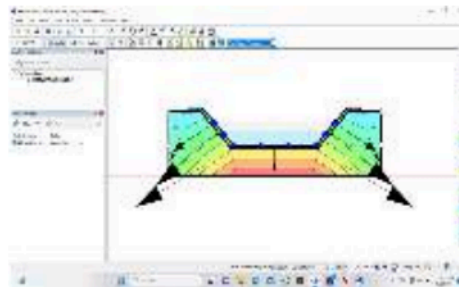
Gambar 4.8. Garis *drainase*, *zero pressure* pada titik (0) saluran dan muka air

6. Setelah mengarsir *draw materials* dan *draw boundary conditions* kemudian klik star untuk mendapatkan hasil dari analisis rembesan



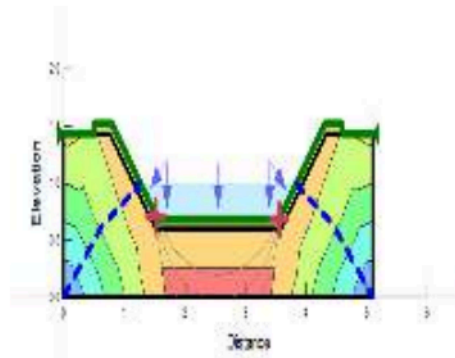
Gambar 4.9. Setelah menekan star maka akan keluar gambar saluran dengan arah rembesanya

7. Hasil dari analisis program seep/w dengan arah rembesanya pada saluran irigasi



Gambar 4.10. Gambar saluran irigasi dengan arah rembesan dari program Geostudio 2018 SEEP/W

8. Gambar lengkap dari saluran irigasi dengan arah rembesannya



Gambar 4.11. tanda x merah menandakan retakan arah rembesan

4.4 Analisis Kehilangan Air di Saluran Irigasi

Analisis kehilangan air dilakukan dengan menghitung perbedaan debit air di hulu dan hilir saluran irigasi. Debit air yang diukur pada beberapa segmen saluran menunjukkan berapa banyak air yang hilang sepanjang saluran akibat rembesan dan penguapan. Pengukuran dilakukan menggunakan current meter, dan debit air dihitung berdasarkan kecepatan aliran dan luas penampang basah. Kehilangan air diukur berdasarkan perbedaan antara debit masuk dan keluar. Rumus untuk kehilangan air adalah:

$$\text{Kehilangan Air} = \text{Debit Masuk } (Q_{\text{hulu}}) - \text{Debit Keluar } (Q_{\text{hilir}})$$

4.5 Analisis Efisiensi Saluran Irigasi

Efisiensi saluran irigasi dihitung berdasarkan perbandingan antara debit air yang diterima di hulu dengan debit air yang sampai di hilir saluran. Efisiensi menunjukkan seberapa besar air yang dapat dimanfaatkan oleh lahan irigasi dibandingkan dengan jumlah air yang disalurkan. Semakin rendah kehilangan air, semakin tinggi efisiensi saluran irigasi.

Efisiensi dihitung berdasarkan perbandingan debit masuk dan debit keluar:

$$\text{Efisiensi} = Q_{\text{masuk}} / Q_{\text{keluar}} \times 100\%$$

4.6 Uji Permeabilitas Tanah Asli dan Tanah dengan Perbaikan

Uji permeabilitas dilakukan untuk mengukur laju rembesan air melalui tanah asli dan tanah yang telah diperbaiki dengan penambahan kapur. Hasil uji permeabilitas menunjukkan bahwa tanah asli memiliki laju rembesan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang telah distabilisasi dengan kapur. Pengujian dilakukan menggunakan metode falling head, dan hasilnya dianalisis untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah.

Rumus yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

$$k = 2,303 \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_1}{h_2}$$

Dimana:

k = Koefisien permeabilitas (cm/s atau m/s)

a = Luas penampang pipa pengukur (m²)

A = Luas penampang sampel tanah (m²)

L = Panjang sampel tanah (m)

t = Waktu yang diperlukan untuk menurunkan permukaan air dari tinggi awal (h_1) ke tinggi akhir (h_2) (detik)

h_1 = Tinggi awal air di pipa (m)

h_2 = Tinggi akhir air di pipa setelah waktu t (m)

Tanah Asli umumnya memiliki koefisien permeabilitas yang lebih tinggi, menunjukkan laju rembesan yang cepat. Sedangkan tanah setelah ditambahkan kapur, nilai permeabilitas harus lebih rendah, yang menunjukkan bahwa tanah menjadi lebih tahan terhadap aliran air, sehingga rembesan berkurang.

4.7 Simulasi Numerik Rembesan Tanah dengan perbaikan

Simulasi numerik dilakukan untuk memodelkan aliran rembesan melalui tanah asli dan tanah yang telah diperbaiki. Simulasi ini dilakukan menggunakan program SEEP/W, yang memodelkan aliran air berdasarkan parameter tanah seperti permeabilitas, gradien hidrolik, dan karakteristik aliran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanah yang diperbaiki dengan kapur memiliki laju rembesan yang lebih rendah dibandingkan tanah asli, sehingga dapat mengurangi kehilangan air di saluran irigasi. Langkah-langkah Simulasi dengan SEEP/W:

1. Persiapan Model

- Buka SEEP/W dan buat proyek baru.
- Tentukan dimensi tanah dan parameter geometri dari saluran irigasi.
- Atur *boundary conditions* (kondisi batas) untuk tanah asli dan tanah yang telah diperbaiki (dengan penambahan kapur).

2. Input Parameter Tanah

Untuk melakukan simulasi rembesan, Anda perlu memasukkan parameter tanah, baik untuk tanah asli maupun tanah yang telah diperbaiki:

- Koefisien Permeabilitas Tanah Asli (dari hasil uji laboratorium dengan metode *Falling Head*).
- Koefisien Permeabilitas Tanah dengan Kapur (untuk setiap variasi kapur: 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%).
- Pastikan nilai permeabilitas (k) yang diperoleh dari uji laboratorium dimasukkan sesuai dengan hasil pengujian tanah asli dan tanah yang telah diperbaiki.

3. *Setting Boundary Conditions*

- a. Tetapkan tinggi air di hulu (*high head boundary*) pada saluran irigasi.
- b. Tetapkan rendahnya head boundary di hilir atau bawah saluran.
- c. Anda dapat menentukan area sumber air (di bagian atas) dan aliran keluar air (di bagian bawah tanah).

4. *Running the Simulation*

- a. Jalankan simulasi untuk tanah asli terlebih dahulu, kemudian untuk tanah yang diperbaiki dengan kapur.
- b. SEEP/W akan menghasilkan kontur tekanan air, gradien hidrolik, dan aliran air yang menunjukkan area-area dengan laju rembesan yang tinggi.

BAB V

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

5.1. Perhitungan Kehilangan Debit Air

Kehilangan air dilakukan dengan menghitung perbedaan debit air di hulu dan hilir saluran irigasi. Pengukuran dilakukan menggunakan *current* meter dan debit air dihitung berdasarkan kecepatan aliran

5.1.1 Blok ke-1

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-1. Dari perhitungan didapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.1 dibawah ini

Tabel 5.1 Luas penampang basah blok ke 1

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	2,20	1,51	1,83	7,470
Siang	2,20	1,51	1,80	7,470
Sore	2,20	1,51	1,82	7,470
Rata-rata				7,470

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 1 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 7,470 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-1 dalam kondisi air normal dengan rumus :

$$Q = (A \times V) \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,8 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,7 m/det

Lebar saluran (b) = 2,20 meter

Tinggi muka air(h) = 1,51 meter

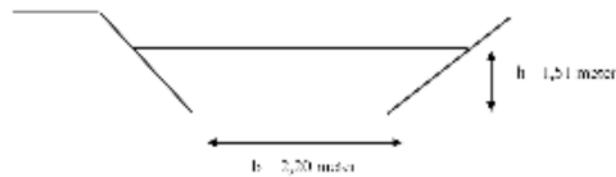
Kemiringan saluran (m) = 1,82 meter

Panjang saluran = 1200 meter

Luas penampang basah (A) = $(bh + mh^2) = (2,20 \times 1,51) + (1,82 \times 1,51^2) = 7,470 \text{ meter}^2$

Debit air masuk (Q) = A.V
 $= 7,470 \times 0,80 = 5,976 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Debit air keluar (Q) = $7,470 \times 0,70 = 5,229 \text{ m}^3/\text{dtk}$



Gambar 5. 1. Luas penampang basah blok ke 1

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 1 menghasilkan $5,976 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.2 Blok ke 2

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-2. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.2 dibawah ini,

Tabel 5.2 Luas penampang basah blok ke 2

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	2,50	1,20	1,78	5,563
Siang	2,50	1,20	1,78	5,563
Sore	2,50	1,20	1,78	5,563

Rata-rata	5,563
-----------	-------

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 2 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 5.563 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-2 dalam kondisi air normal dengan persamaan 2.21.

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,8 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,6 m/det

Lebar saluran (b) = 2,50 meter

Tinggi muka air = 1,20 meter

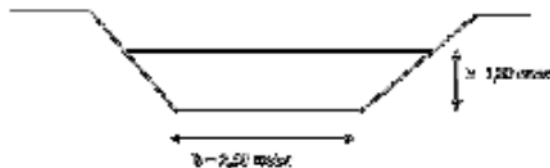
Kemiringan saluran (m) = 1,78 meter

Panjang saluran = 750 meter

Luas penampang basah (A) = (bh + mh²) = (2,50 x 1,2) + (1,78 x 1,2²) = 5,563 meter²

Debit air masuk = (Q) = A.V
= 5,563 x 0,8 = 4,451 m³/dtk

Debit air keluar = 5,563 x 0,6 = 3,338 m³/dtk



Gambar 5. 2. Luas penampang basah blok ke 2

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 2 menghasilkan 4,451 m³/dtk. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.3 Blok ke 3

Pengukuran yang dilaksanakan di lapangan di mulai dari saluran Blok ke-3. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.3 dibawah ini,

Tabel 5.3 Luas penampang basah blok ke 3

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	2,30	1,0	1,80	7,38
Siang	2,30	1,0	1,80	7,38
Sore	2,30	1,0	1,80	7,38
Rata-rata				7,38

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 3 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 7,38 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-3 dalam kondisi air normal dengan persamaan 2. 21.

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,7 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,5 m/det

Lebar saluran (b) = 2,3 meter

Tinggi muka air = 1,80 meter

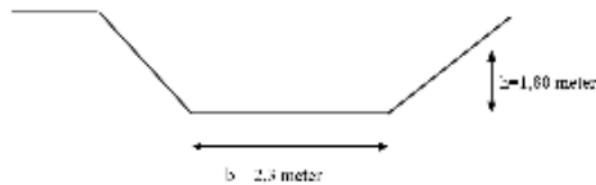
Kemiringan saluran (m) = 1 meter

Panjang saluran = 700 meter

Luas penampang basah (A) = (bh + mh²) = (2,3 x 1,80) + (1 x 1,8²) = 7,38 meter²

Debit air masuk = (Q) = A.V
= 7,38 x 0,7 = 5,166 m³/dtk

Debit air keluar = 7,38 x 0,5 = 3,690 m³/dtk



Gambar 5. 3. Luas penampang basah blok ke 3

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 3 menghasilkan 5,166 m³/dtk. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.4 Blok ke 4

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-4. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dilihat pada tabel 5.4 dibawah ini,

Tabel 5.4 Luas penampang basah blok ke 4

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	2,95	0,95	1,75	8,07
Siang	2,95	0,95	1,75	8,07
Sore	2,95	0.95	1,75	8,07
Rata-rata				8,07

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 4 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 8,07 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-4 dalam kondisi air normal dengan rumus persamaan 2.21.

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,6 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,45 m/det

Lebar saluran (b) = 2,95 meter

Tinggi muka air = 1,75 meter

Kemiringan saluran (m) = 0,95 meter

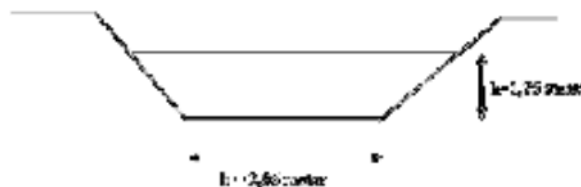
Panjang saluran = 600 meter

Luas penampang basah (A) = $(bh + mh^2) = (2,95 \times 1,75) + (0,95 \times 1,75^2) = 8,07 \text{ meter}^2$

Debit air masuk (Q) = A.V

$$= 8,07 \times 0,6 = 4,84 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Debit air keluar = $8,07 \times 0,45 = 3,63 \text{ m}^3/\text{dtk}$



Gambar 5. 4. Luas penampang basah blok ke 4

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 4 menghasilkan 4,84 m³/dtk. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.5 Blok ke 5

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-5. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.5 dibawah ini,

Tabel 5.5 Luas penampang basah blok ke 5

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	2,00	1,00	1,50	5,25
Siang	2,00	1,00	1,50	5,25
Sore	2,00	1,00	1,50	5,25
Rata-rata				5,25

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 5 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 5,25 m²

Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-5 dalam kondisi air normal dengan persamaan 2.21:

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,8 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,66 m/det

Lebar saluran (b) = 2,0 meter

Tinggi muka air = 1,50 meter

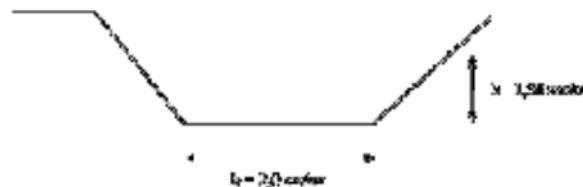
Kemiringan saluran (m) = 1 meter

Panjang saluran = 550 meter

Luas penampang basah (A) = $(bh + mh^2) = (2,0 \times 1,5) + (1 \times 1,50^2) = 5,25 \text{ meter}^2$

Debit air masuk = (Q) = A.V
 $= 5,25 \times 0,8 = 4,20 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Debit air keluar = $5,25 \times 0,65 = 3,465 \text{ m}^3/\text{dtk}$



Gambar 5. 5. Luas penampang basah blok ke 5

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 5 menghasilkan 4,20 m³/dtk. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.6 Blok ke 6

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-6. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.6 dibawah ini,

Tabel 5.6 Luas penampang basah blok ke 6

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	1,75	0,95	1,50	4,76
Siang	1,75	0,95	1,50	4,76
Sore	1,75	0,95	1,50	4,76
Rata-rata				4,76

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 6 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 4,76 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-6 dalam kondisi air normal dengan rumus persamaan 2.21.

Dimana ;

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,8 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,63 m/det

Lebar saluran (b) = 1,75 meter

Tinggi muka air = 1,50 meter

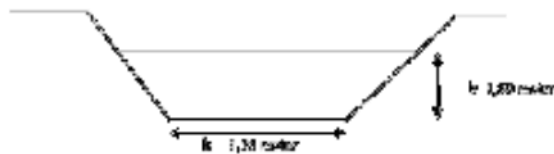
Kemiringan saluran (m) = 0,95 meter

Panjang saluran = 450 meter

Luas penampang basah (A) = $(bh + mh^2) = (1,75 \times 1,5) + (0,95 \times 1,5^2) = 4,7625 \text{ meter}^2$

Debit air masuk = $(Q) = A.V$
 $= 4,76 \times 0,8 = 3,81 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Debit air keluar = $4,76 \times 0,63 = 3,01 \text{ m}^3/\text{dtk}$



Gambar 5.6. Luas penampang basah blok ke 6

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 6 menghasilkan $3,81 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V).

5.1.7 Blok ke 7

Pengukuran yang dilaksanakan dilapangan di mulai dari saluran Blok ke-7. Dari perhitungan di atas di dapatkan nilai waktu tempuh (T) dimana pengukuran kecepatannya di bagi tiga titik yaitu pias 1, pias 2 dan pias 3. Hasil perhitungan luas penampang basah dapat dilihat pada tabel 5.7 dibawah ini

Tabel 5.7 Luas penampang basah blok ke 7

Waktu	b (m)	m (m)	h (m)	A (m ²)
Pagi	1,85	0,65	1,40	1,625
Siang	1,85	0,65	1,40	1,625

Sore	1,85	0,65	1,40	1,625
Rata-rata				1,625

Contoh perhitungan dilakukan pada blok 7 seperti pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai luas penampang rata-rata adalah 1,625 m². Berdasarkan data pengukuran, maka dapat di hitung debit aliran pada Blok ke-6 dalam kondisi air normal dengan persamaan 2.21.

Dimana:

Kecepatan Aliran hulu (V) = 0,8 m/det

Kecepatan Aliran hilir (V) = 0,66 m/det

Lebar saluran (b) = 1,85 meter

Tinggi muka air = 0,65 meter

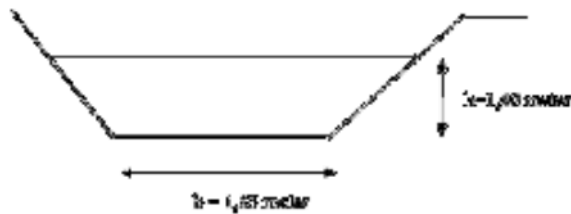
Kemiringan saluran (m) = 1 meter

Panjang saluran = 400 meter

Luas penampang basah (A) = $(bh + mh^2) = (1,85 \times 1,4) + (0,65 \times 1,4) = 1,625 \text{ meter}^2$

Debit air masuk = (Q) = A.V
 $= 1,625 \times 0,8 = 1,30 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Debit air keluar = $1,625 \times 0,66 = 1,07 \text{ m}^3/\text{dtk}$



Gambar 5.7. Luas penampang basah blok ke 7

Perhitungan debit aliran untuk blok ke 7 menghasilkan 1,30 m³/dtk. Dari perhitungan di atas didapatkan nilai luas penampang basah (A) yang diperoleh dari lebar dasar saluran (b) di tambah dengan tinggi muka air (h) dan di kali dengan kemiringan dinding saluran (m). Untuk nilai kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (h) di dapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Untuk nilai

debit air (Q) di peroleh dari luas penampang basah (A) di kali dengan kecepatan aliran (V). Rekapitulasi kehilangan debit air dapat dilihat pada tabel 5.8 dibawah ini

Tabel 5.8 kehilangan debit air

Saluran	kehilangan debit air (m ³ /dtk)
Blok 1	0,747
Blok 2	1,113
Blok 3	1,476
Blok 4	1,210
Blok 5	0,740
Blok 6	0,800
Blok 7	0,230

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa kehilangna debit air terbesar terjadi pada blok ke 3 sebesar 1,476 (m³/dtk) sedangkan kehilangan debit air terkcil terjadi pada blok ke 7 sebesar 0,230 (m³/dtk)

5.2 Analisis Efisiensi Saluran Irigasi

Efisiensi saluran irigasi dihitung berdasarkan perbandingan antara debit air yang diterima di hulu dengan debit air yang sampai di hilir saluran. Efisiensi menunjukkan seberapa besar air yang dapat dimanfaatkan oleh lahan irigasi dibandingkan dengan jumlah air yang disalurkan. Semakin rendah kehilangan air, semakin tinggi efisiensi saluran irigasi.

5.2.1 Blok ke 1

Berdasarkan data pengukuran di atas, maka dapat dihitung kehilangan air pada saluran irigasi bendungan batu bulan dengan rumus:

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 5,976 m³/dtk,

Debit Hilir = 5,229 m³/dtk

$$h_n = 5,976 - 5,229 = 0,747 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.22) \\ &= \frac{5,229 (m^3/dtk)}{5,976 (m^3/dtk)} \times 100\% \\ &= 87,5\% \end{aligned}$$

5.2.2 Blok ke 2

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 4,451 m³/dtk,

Debit Hilir = 3,338 m³/dtk

$$h_n = 4,451 - 3,338 = 1,113 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(23) \\ &= \frac{3,338 (m^3/dtk)}{4,451 (m^3/dtk)} \times 100\% \\ &= 75\% \end{aligned}$$

5.2.3. Blok ke 3

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 5,166 m³/dtk,

Debit Hilir = 3,690 m³/dtk

$$h_n = 5,166 - 3,690 = 1,476 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.23) \\ &= \frac{3,690 (m^3/dtk)}{5,166 (m^3/dtk)} \times 100\% \\ &= 71,43\% \end{aligned}$$

5.2.4 Blok ke 4

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 2,250 m³/dtk,

Debit Hilir = 1,688 m³/dtk

$$h_n = 2,250 - 1,688 = 0,563 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.23) \\ &= \frac{1,688 (m^3/dtk)}{2,250 (m^3/dtk)} \times 100\% \\ &= 75\% \end{aligned}$$

5.2.5 Blok ke 5

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 4,20 m³/dtk,

Debit Hilir = 3,412 m³/dtk

$$h_n = 4,20 - 3,41 = 0,788 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.23) \\ &= \frac{3,41 (m^3/dtk)}{4,20 (m^3/dtk)} \times 100\% \\ &= 81,25\% \end{aligned}$$

5.2.6 Blok ke 6

$$h_n = I_n - O_n \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 3,81 m³/dtk,

Debit Hilir = 3,01 m³/dtk

$$h_n = 3,81 - 3,01 = 0,809 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.23) \\
 &= \frac{3,01 (m^3/dtk)}{3,81 (m^3/dtk)} \times 100\% \\
 &= 78,75\%
 \end{aligned}$$

5.2.7 Blok ke 7

$$hn = In - On \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana ;

Debit Hulu = 1,30 m³/dtk,

Debit Hilir = 1,07 m³/dtk

hn = 1,30 – 1,07 = 0,228 m³/dtk

Sedangkan untuk efisiensi saluran dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Debit air yang hilir } (m^3/dtk)}{\text{Debit air yang hulu } (m^3/dtk)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.23) \\
 &= \frac{1,07 (m^3/dtk)}{1,30 (m^3/dtk)} \times 100\% \\
 &= 82,5 \%
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan hasil pengukuran dari blok1 sampai dengan blok 7 nilai efisiensi dan kehilangan air di Saluran Batu Bulan dapat dilihat pada tabel 5.9 dibawah ini

Tabel 5.9 Perhitungan Efisiensi dan Kehilangan Air di Saluran Batu Bulan

No	Pengukuran	Debit (m ³ /dtk)		Kehilangan (m ³ /d)	Efisiensi (%)
		Hulu	Hilir		
1	Blok ke 1	5,976	5,229	0,747	87,5
2	Blok ke 2	4,451	3,338	1,113	75
3	Blok ke 3	5,166	3,690	1,476	71,43
4	Blok ke 4	2,250	1,688	0,563	75
5	Blok ke 5	4,200	3,412	0,788	81,25
6	Blok ke 6	3,810	3,010	0,809	78,75
7	Blok ke 7	1,300	1,070	0,228	82,5
Rata-Rata				0,817	78,78

Untuk perhitungan di atas menghasilkan hasil efisiensi dari pengukuran di

lapangan dimana kehilangan air banyak terjadi pada saluran blok ke-3 sebesar 1,476 m³/dtk dan efisiensinya terjadi pada blok ke-1 sebesar 87,5 %.

5.3 Perhitungan Uji Permeabilitas Tanah

Uji tanah dilakukan untuk mengukur pengaruh penambahan kapur terhadap permeabilitas dan kekuatan tanah. Sampel tanah diambil dari lokasi penelitian, dikeringkan, dan dicampur dengan kapur sesuai variasi (4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%).

5.3.1 Uji permeabilitas tanah variasi kapur 4 %

1. Data uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah + 40 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.10 dibawah ini

Tabel 5.10 sampel pertama uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah + 40 gram kapur

Diameter Sampel (D)	:	6,5 cm
Panjang Sampel (L)	:	10,0 cm
Volume Tabung (V)	:	331,83 cm ³
Berat Tabung (W1)	:	128,73 gr
Berat Tabung+tanah+kapur (W2)	:	498,7 gr
Berat tanah+kapur	:	369,97 gr
Bulk Density	:	1,38 gr/cm ³
Kadar air sebelum uji (w1)	:	9,2 %
Dry Density (gd) sebelum uji	:	1,11 gr/cm ³
Kadar air setelah uji (w2)	:	17,20 %
Dry Density (gd) setelah uji	:	1,09 gr/cm ³
Diameter Burret (a)	:	1,7 cm
Ketinggian head awal (h1)	:	100 cm
Luas Tabung sampel (A)	:	33,18 cm ²

No	t (dt)	T (°C)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)

1	320	25	62	42	0,00393
2	325	25	65	45	0,00379
3	322	25	58	48	0,00403
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00392
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00348

Untuk perhitungan di atas pada sampel pertama uji permeabilitas tanah variasi kapur 4 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00392 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00348 (cm/det)

2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah + 40 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.11 dibawah ini

Tabel 5.11 sampel kedua uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah + 40 gram

No	t (dt)	T (°C)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	319	25	63	42	0,00392
2	324	25	64	45	0,00383
3	322	25	57	48	0,00406
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00393
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00350

Untuk perhitungan di atas pada sampel kedua uji permeabilitas tanah variasi kapur 4 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00393 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00350 (cm/det)

5.3.2. Uji permeabilitas tanah variasi kapur 6 %

1. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah + 57 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.12 dibawah ini

Tabel 5.12 sampel pertama uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah + 57 gram kapur

No	t (dt)	T (oC)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	340	25	72	38	0,00345
2	354	25	72	40	0,00331
3	356	25	73	41	0,00327
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00335
Koefisien permeabilitas pada suhu 25 ⁰ C					0,00298

Untuk perhitungan di atas pada sampel pertama uji permeabilitas tanah variasi kapur 6 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00335 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25⁰C sebesar 0,00298 (cm/det)

2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah + 57 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.12 dibawah ini

Tabel 5.12 sampel kedua uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah + 57 gram kapur

No	t (dt)	T (oC)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	339	25	74	37	0,00342
2	352	25	75	41	0,00329
3	354	25	74	42	0,00330
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00334
Koefisien permeabilitas pada suhu 25 ⁰ C					0,00296

Untuk perhitungan di atas pada sampel kedua uji permeabilitas tanah variasi kapur 6 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00334 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00296 (cm/det)

5.3.3 Uji permeabilitas tanah variasi kapur 8 %

1. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah + 63 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.13 dibawah ini

Tabel 5.13 sampel pertama uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah + 63 gram kapur

No	t (dt)	T (oC)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	K (cm/dt)
1	425	25	78	34	0,00266
2	428	25	79	36	0,00262
3	430	25	75	39	0,00268
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00265
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00236

Untuk perhitungan di atas pada sampel pertama uji permeabilitas tanah variasi kapur 8 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00265 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00236 (cm/det)

2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah + 63 gram kapur dapat dilihat pada tabel 5.14 dibawah ini

Tabel 5.14 sampel kedua uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah + 63 gram kapur

No	t (dt)	T (°C)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	423	25	79	35	0,00265
2	427	25	77	36	0,00266

3	431	25	76	38	0,00265
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00266
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00236

Untuk perhitungan di atas pada sampel kedua uji permeabilitas tanah variasi kapur 8 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,00266 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00236 (cm/det)

5.3.4. Uji permeabilitas tanah variasi kapur 10 %

1. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah + 112 gram kapur tabel 5.15 dibawah ini. Tabel 5.15 sampel pertama uji laboratorium koefisien permeabilitas kondisi tanah variasi kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah + 112gram kapur

No	t (dt)	T (oC)	h2 (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	520	25	81	34	0,00213
2	532	25	82	36	0,00209
3	530	25	82	39	0,00206
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00210
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00186

Untuk perhitungan di atas pada sampel pertama uji permeabilitas tanah variasi kapur 10 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) 0,00210 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00186 (cm/det)

2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah + 112 gram kapur tabel 5.16 dibawah ini. Tabel 5.16 Sampel kedua Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah + 112 gram kapur

No	t (dt)	T (°C)	h ₂ (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	519	25	80	33	0,00215
2	531	25	83	35	0,00206
3	532	25	79	38	0,00211
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00211
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00187

Untuk perhitungan di atas pada sampel kedua uji permeabilitas tanah variasi kapur 10 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) 0,00211 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00187 (cm/det).

5.3.5. Uji permeabilitas tanah variasi kapur 12 %

1. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 12% dengan komposisi 1000 gram tanah + 136 gram kapur tabel 5.17 dibawah ini. Tabel 5.17 Sampel pertama Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah + 136 gram kapur

No	t (dt)	T (°C)	h ₂ (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	748	25	81	34	0,00148
2	756	25	82	36	0,00146
3	762	25	82	39	0,00145
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00146
Koefisien permeabilitas pada suhu 25°C					0,00130

Untuk perhitungan di atas pada sampel pertama uji permeabilitas tanah variasi kapur 12 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) 0,00146 (cm/det) sedangkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 25°C sebesar 0,00130 (cm/det)

2. Data Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 12% dengan komposisi 1000 gram tanah + 136 gram kapur tabel 5.18 dibawah ini
Tabel 5.18 Sampel kedua Uji Laboratorium Koefisien Permeabilitas Kondisi Tanah variasi kapur 12% dengan komposisi 1000 gram tanah + 136 gram kapur

No	t (dt)	T (°C)	h ₂ (cm)	Q (cm ³ /dt)	k (cm/dt)
1	746	25	82	33	0,00148
2	757	25	81	35	0,00147
3	760	25	83	38	0,00144
Rata-rata koefisien permeabilitas (k)					0,00146
Koefisien permeabilitas pada suhu 25 ⁰ C					0,00130

Untuk perhitungan di atas pada sampel kedua uji permeabilitas tanah variasi kapur 12 % menghasilkan nilai rata-rata koefisien permeabilitas (k) 0,00146 (cm/det) sedangkan nilai

koefisien permeabilitas pada suhu 25⁰C sebesar 0,00130 (cm/det)

Adapun rekapitulasi nilai uji sampel tanah + kapur dapat nilai Koefisien permeabilitas (k) dapat dilihat pada tabel 5.19 dibawah ini

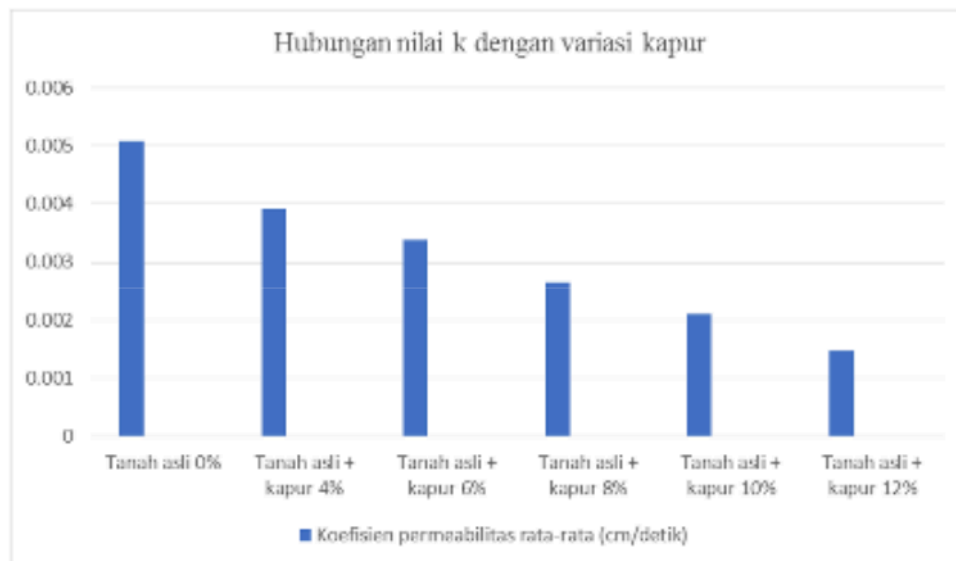
Tabel 5.19 nilai rata-rata koefisien permeabilitas (cm/menit)

Komposisi Campuran	Koefisien permeabilitas rata-rata (cm/menit)	Koefisien permeabilitas rata-rata (cm/menit)
Tanah asli + kapur 4%	0,003920	0,003925
	0,003930	
Tanah asli + kapur 6%	0,003350	0,003375
	0,003400	
Tanah asli + kapur 8%	0,002650	0,002655
	0,002660	
Tanah asli + kapur 10%	0,002100	0,002105
	0,002110	
Tanah asli + kapur 12%	0,001460	0,001460
	0,001460	

Untuk perhitungan di atas nilai koefisien permeabilitas rata-rata terbesar terjadi pada campuran Tanah asli + kapur 4% sebesar 0,003925 (cm/det) sedangkan yang terkecil terjadi pada Tanah asli + kapur 12% sebesar 0,001460 (cm/menit). Adapun hubungan

nilai koefisien permeabilitas dengan variasi kapur dapat dilihat pada grafik 5.1 dibawah ini

Gambar 5.1 hubungan nilai k dengan variasi kapur



Gambar tersebut menunjukkan penurunan nilai koefisien permeabilitas (k) seiring dengan peningkatan kadar campuran kapur. Pada campuran kapur sebesar 12%, nilai koefisien permeabilitas mencapai 0,00146 cm/det yang mengindikasikan bahwa kecepatan infiltrasi air semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh perubahan volume dan ukuran pori dalam tanah akibat penambahan kapur. Reaksi kimia yang terjadi antara kapur dan partikel pasir menyebabkan kapur bertindak sebagai pengikat, memperkecil ukuran pori. Kation yang dapat ditukar pada kapur menggantikan lapisan air yang

melingkupi partikel pasir, sehingga partikel-partikel tanah saling mendekat dan menjadi lebih padat. Meskipun total volume tanah menurun, pori-pori yang terbentuk menjadi lebih kecil, sehingga menurunkan permeabilitas tanah

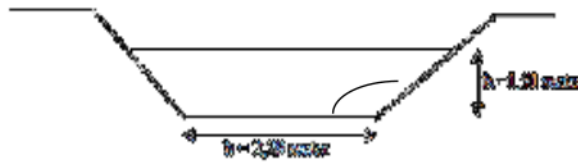
5.4. Perhitungan Rembesan saluran irigasi

5.4.1. Perhitungan Rembesan Tanah+kapur

Untuk menghitung tingkat rembesan pada saluran irigasi dilakukan tiap-tiap blok. Adapun tahapan perhitungan sebagai berikut :

- 1) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 dengan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 40 gram kapur

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran pemasangan batu kali blok 1 sebesar 1,20 km dihitung sebagai berikut



Gambar 5.8. Luas penampang basah blok ke 1

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitan (0,000546 cm/dtk) terdapat di lamiran 5

A = Luas penampang basah (m^2)

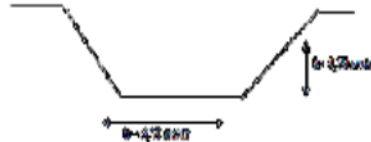
$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,000546 \text{ cm/dtk} \times 7,470 \text{ m}^3 \\ &= 0,000408 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,000408 \times 1200 = 0,04896 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar $0,04896 \text{ m}^3/\text{dtk}$

- 2) Debit Rembesan muka air banjir blok 2 dengan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 60 gram kapur

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 2 sebesar 750 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.9. Luas penampang basah blok ke 2

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000546 cm/dtk)

A = Luas penampang basah (m^2)

$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000546 \text{ cm/dtk} \times 5,563 \text{ m}^2 \\ &= 0,000304 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,000304 \times 750 = 0,228 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar $0,0228 \text{ m}^3/\text{dtk}$

- 3) Debit Rembesan muka air banjir blok 3 dengan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 80 gram kapur

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 3 sebesar 700 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.10. Luas penampang basah blok ke 3

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000546 cm/dtk)

A = Luas penampang basah (m^2)

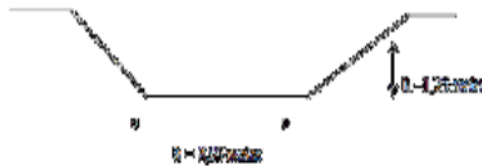
$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000546 \text{ cm/dtk} \times 7,38 \text{ m}^2 \\ &= 0,000302 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,000302 \times 700 = 0,22351 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,22351 m^3/det

- 4) Debit Rembesan muka air banjir blok 4 dengan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 100 gram kapur

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 4 sebesar 600 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.11. Luas penampang basah blok ke 4

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000546 cm/dtk)

A = Luas penampang basah (m^2)

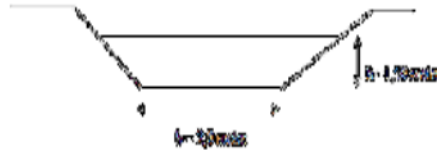
$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000546 \text{ cm/dtk} \times 3,75 \text{ m}^2 \\ &= 0,0000204 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,0000204 \times 600 = 0,12285 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,12285 m^3/det

- 5) Debit Rembesan muka air banjir blok 5 dengan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur 12% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 120 gram kapur

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 5 sebesar 550 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.12. Luas penampang basah blok ke 5

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000546 m/dtk)

A = Luas penampang basah (m^2)

$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000546 \text{ cm/dtk} \times 5,25 \text{ m}^2 \\ &= 0,000287 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,000287 \times 550 = 0,1576 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,1576 m^3/det

Adapun rekapitulasi debit rembesan tanah asli dari blok ke 1 sampai dengan blok ke 5 dapat dilihat pada tabel 5.20 dibawah ini:

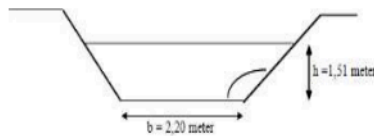
Blok	Panjang Saluran (m)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit Rembesan (m ³ /dtk)	Debit Total Rembesan (m ³ /dtk)
1	1200	7,470	0,000408	0,48943
2	750	5,563	0, 000304	0,22780
3	700	7,380	0, 000402	0,22351
4	600	3,750	0, 0000204	0,12285
5	550	5,250	0, 000287	0,1176

Tabel 5.20 Debit rembesan kondisi tanah yang sudah dicampur kapur

5.4.2. Perhitungan rembesan dengan tanah asli

Adapun tahapan perhitungan rembesan sebagai berikut

- 1) Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran pasangan batu kali blok 1 sebesar 1,20 km dihitung sebagai berikut



Gambar 5.13. Luas penampang basah blok ke 1

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitan (0,0000146 cm/dtk)

A = Luas penampang basah (m²)

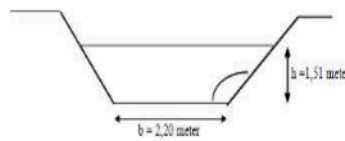
$$Q_{\text{rembesan}} = 0,000146 \text{ cm/dtk} \times 7,470 \text{ m}^2$$

$$= 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,000109 \times 1200 = 0,13087 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar $0,13087 \text{ m}^3/\text{det}$

- 2) Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 2 sebesar 750 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.14. Luas penampang basah blok ke 2

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitan ($0,0000146 \text{ cm/dtk}$)

A = Luas penampang basah (m^2)

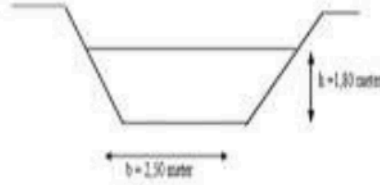
$$Q_{\text{rembesan}} = 0,0000146 \text{ cm/dtk} \times 5,563 \text{ m}^2$$

$$= 0,00008121 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,00008121 \times 750 = 0,0609075 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar $0,0609075 \text{ m}^3/\text{det}$

- 3) Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 3 sebesar 700 m dihitung sebagai berikut :



Gambar 5.14. Luas penampang basah blok ke 3

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000146 m/dtk)

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

a = Koefisien Permeabilitas (0,0000146 m/dtk)

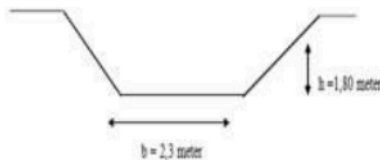
A = Luas penampang basah (m^2)

$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000146 \text{ cm/dtk} \times 7,380 \text{ m}^2 \\ &= 0,00001077 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,00001077 \times 700 = 0,00754 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,00754 m^3/det

- 4) Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 4 sebesar 600 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.15. Luas penampang basah blok ke 4

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

$$a = \text{Koefisien Permeabilitan (0,0000146 cm/dtk)}$$

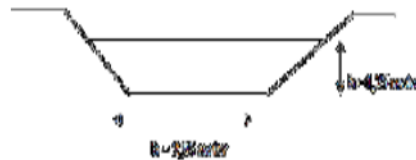
$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000146 \text{ cm/dtk} \times 3,750 \text{ m}^2 \\ &= 0,00005475 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,00005475 \times 600 = 0,03285 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,03285 m³/det

- 5) Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air banjir dengan panjang saluran beton blok 5 sebesar 550 m dihitung sebagai berikut



Gambar 5.16. Luas penampang basah blok ke 5

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{\text{rembesan}} = a \times A$$

Dengan :

$$a = \text{Koefisien Permeabilitan (0,0000146 cm/dtk)}$$

$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

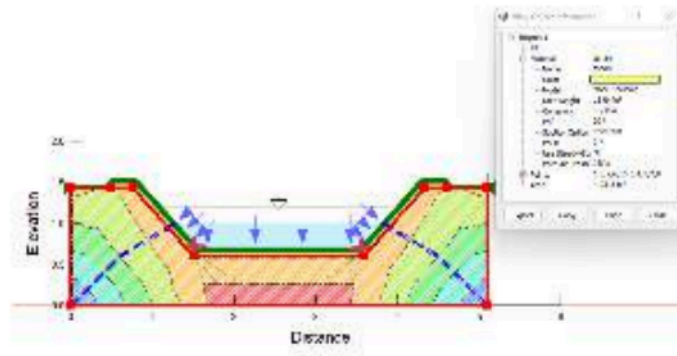
$$\begin{aligned} Q_{\text{rembesan}} &= 0,0000146 \text{ m/dtk} \times 5,250 \text{ m}^2 \\ &= 0,00007665 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total rembesan}} = 0,00007665 \times 550 = 0,04215 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Maka didapatkan hasil debit rembesan total (Q_{total}) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar 0,04215 m³/det

5.4.3. Perhitungan rembesan saluran irigasi menggunakan program SEEP/W

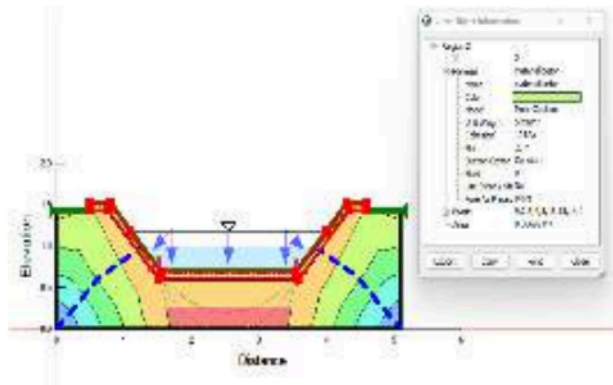
- 1) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 variasi tanah + kapur 4% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 40 gram kapur dapat dilihat pada gambar 5.17 dibawah ini :



Gambar 5.17 arah aliran rembesan dengan variasi tanah + kapur 4%

Hasil pemodelan dapat diketahui material property yang ada contoh pada layer tanah, berwarna kuning dengan model Mohr coulomb, unit weight (berat satuan) 15 kN/m^3 , cohesion $6,7 \text{ kPa}$ dan ϕ 20° . koefisien permeabilitas 0.00003925 didapatkan nilai rembesan sebesar $0,0362 \text{ m}^3/\text{det}$ Tanda panah x biru pada gambar menunjukkan arah rembesan pada saluran irigasi. Media tanah dengan beberapa jenis elevasi muka air tanah menggunakan Geo-Studio Seep/W 2018 menggambarkan fluktuasi muka air tanah di lapangan. Pada hasil model terlihat adanya garis ekipotensial dan garis aliran yang mewakili pergerakan air di dalam tanah. Sedangkan gradasi warna pada hasil model menunjukkan perbedaan potensial yang terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Naik turunnya muka air tanah atau fluktuasi muka air tanah mempengaruhi potensial air. Warna biru pada hasil model menunjukkan bagian dengan potensial paling besar akibat pengaruh fluktuasi air di hulu, sedangkan warna hijau muda menunjukkan lahan dengan potensial paling kecil

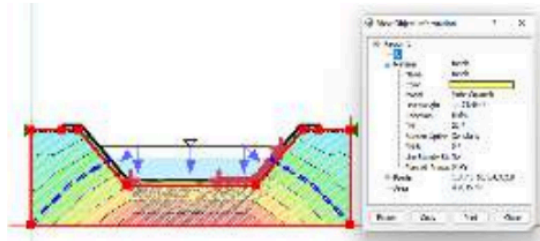
- 2) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 variasi tanah + kapur 6% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 60 gram kapur dapat dilihat pada gambar 5.18 dibawah ini :



Gambar 5.18 arah aliran rembesan variasi tanah + kapur 6%

Hasil pemodelan dapat diketahui material property yang ada contoh pada layer tanah, berwarna kuning dengan model Mohr coulomb, unit weight (berat satuan) 15 kN/m^3 , cohesion $6,7 \text{ kPa}$ dan ϕ 20° . koefisien permeabilitas 0.00003375 didapatkan nilai rembesan sebesar $0,0171 \text{ m}^3/\text{det}$ Tanda panah x biru pada gambar menunjukkan arah rembesan pada saluran irigasi. Media tanah dengan beberapa jenis elevasi muka air tanah menggunakan Geo-Studio Seep/W 2018 menggambarkan fluktuasi muka air tanah di lapangan. Pada hasil model terlihat adanya garis ekipotensial dan garis aliran yang mewakili pergerakan air di dalam tanah. Sedangkan gradasi warna pada hasil model menunjukkan perbedaan potensial yang terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Naik turunnya muka air tanah atau fluktuasi muka air tanah mempengaruhi potensial air. Warna biru pada hasil model menunjukkan bagian dengan potensial paling besar akibat pengaruh fluktuasi air di hulu, sedangkan warna hijau muda menunjukkan lahan dengan potensial paling kecil

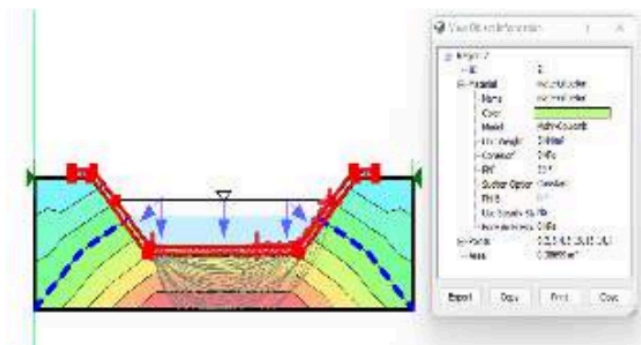
- 3) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 variasi tanah + kapur 8% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 80 gram kapur dapat dilihat pada gambar 5.19 dibawah ini :



Gambar 5.19 arah aliran rembesan variasi tanah + kapur 8%

Hasil pemodelan dapat diketahui material property yang ada contoh pada layer tanah, berwarna kuning dengan model Mohr coulomb, unit weight (berat satuan) $14,7 \text{ kN/m}^3$, cohesion 6 kPa dan phi 21. koefisien permeabilitas 0.00003375 didapatkan nilai rembesan sebesar $0,204 \text{ m}^3/\text{det}$ Tanda panah x biru pada gambar menunjukkan arah rembesan pada saluran irigasi. Media tanah dengan beberapa jenis elevasi muka air tanah menggunakan Geo-Studio Seep/W 2018 menggambarkan fluktuasi muka air tanah di lapangan. Pada hasil model terlihat adanya garis ekipotensial dan garis aliran yang mewakili pergerakan air di dalam tanah. Sedangkan gradasi warna pada hasil model menunjukkan perbedaan potensial yang terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Naik turunnya muka air tanah atau fluktuasi muka air tanah mempengaruhi potensial air. Warna biru pada hasil model menunjukkan bagian dengan potensial paling besar akibat pengaruh fluktuasi air di hulu, sedangkan warna hijau muda menunjukkan lahan dengan potensial paling kecil

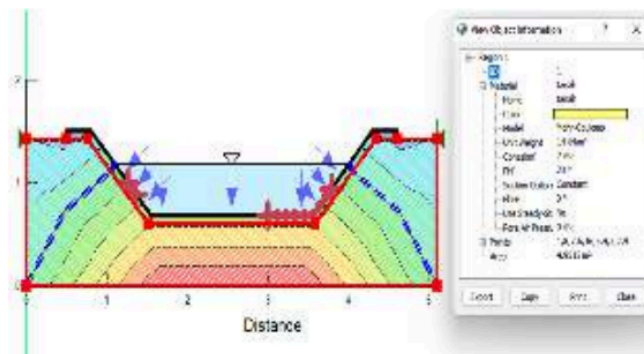
- 4) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 variasi tanah + kapur 10% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 100 gram kapur dapat dilihat pada gambar 5.20 dibawah ini



Gambar 5.20 arah aliran rembesan variasi tanah + kapur 10%

Hasil pemodelan dapat diketahui material property yang ada contoh pada layer tanah, berwarna kuning dengan model Mohr coulomb, unit weight (berat satuan) 15 kN/m^3 , cohesion $6,7 \text{ kPa}$ dan ϕ 20° . koefisien permeabilitas 0.0000241 cm/det didapatkan nilai rembesan sebesar $0,0683 \text{ m}^3/\text{det}$ Tanda panah x biru pada gambar menunjukkan arah rembesan pada saluran irigasi. Media tanah dengan beberapa jenis elevasi muka air tanah menggunakan Geo-Studio Seep/W 2018 menggambarkan fluktuasi muka air tanah di lapangan. Pada hasil model terlihat adanya garis ekipotensial dan garis aliran yang mewakili pergerakan air di dalam tanah. Sedangkan gradasi warna pada hasil model menunjukkan perbedaan potensial yang terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Naik turunnya muka air tanah atau fluktuasi muka air tanah mempengaruhi potensial air. Warna biru pada hasil model menunjukkan bagian dengan potensial paling besar akibat pengaruh fluktuasi air di hulu, sedangkan warna hijau muda menunjukkan lahan dengan potensial paling kecil

- 5) Debit Rembesan muka air banjir blok 1 variasi tanah + kapur 12% dengan komposisi 1000 gram tanah ditambah 120 gram kapur dapat dilihat pada gambar 5.21 dibawah ini



Gambar 5.21 arah aliran rembesan variasi tanah + kapur 12%

Hasil pemodelan dapat diketahui material *property* yang ada contoh pada layer tanah, berwarna kuning dengan model *Mohr coulomb*, *unit weight* (berat satuan) 15 kN/m³, cohesion 6,7 kPa dan phi 20°. koefisien permeabilitas 0,0000146 cm/det didapatkan nilai rembesan sebesar 0,0469 m³/det Tanda panah x biru pada gambar menunjukkan arah rembesan pada saluran irigasi. Media tanah dengan beberapa jenis elevasi muka air tanah menggunakan Geo-Studio Seep/W 2018 menggambarkan fluktuasi muka air tanah di lapangan. Pada hasil model terlihat adanya garis ekipotensial dan garis aliran yang mewakili pergerakan air di dalam tanah. Sedangkan gradasi warna pada hasil model menunjukkan perbedaan potensial yang terjadi akibat fluktuasi tinggi muka air tanah. Naik turunnya muka air tanah atau fluktuasi muka air tanah mempengaruhi potensial air. Warna biru pada hasil model menunjukkan bagian dengan potensial paling besar akibat pengaruh fluktuasi air di hulu, sedangkan warna hijau muda menunjukkan lahan dengan potensial paling kecil.

Rekapitulasi hasil perhitungan debit rembesan lapangan dengan debit rembesan SEEP-W dapat dilihat pada tabel 5.21 dibawah ini

Tabel 5.21 Rekapitulasi hasil perhitungan debit rembesan

Komposisi Campuran	Debit rembesan SEEP-W (m^3/dtk)	Debit campuran tanah+kapur (m^3/dtk)	Debit tanah asli (m^3/dtk)
Tanah asli + kapur 4%	0,0362	0,0489	0,13087
Tanah asli + kapur 6%	0,0271	0,0228	
Tanah asli + kapur 8%	0,2046	0,0208	
Tanah asli + kapur 10%	0,0683	0,0168	
Tanah asli + kapur 12%	0,0169	0,0126	

Berdasarkan tabel diatas maka diperoleh nilai debir rembesan SEEP-W terbesar 0,0489 (m^3/dtk) pada campuran Tanah asli + kapur 4% sedangkan debit rembesan SEEP-W terkecil 0,0169 (m^3/dtk) pada campuran Tanah asli + kapur 12%. Kemudian debit rembesan hasil analisis lapangan terbesar 0,2820 (m^3/dtk) Tanah asli + kapur 8% sedangkan debit rembesan terkecil 0,0186 (m^3/dtk) pada campuran Tanah asli + kapur 12% dan debit rembesan tanah 0% sebesar 0,0126 (m^3/dtk)

Dalam pengukuran lapangan, nilai koefisien permeabilitas (k) yang digunakan adalah (0,00003925 m^3/det), yang lebih besar dibandingkan dengan nilai (k) dari simulasi Seep/W, yaitu (0,00003375 m^3/det). Nilai (k) yang lebih besar pada pengukuran lapangan mencerminkan kondisi aktual tanah yang mungkin lebih heterogen, dengan adanya retakan atau variasi material yang mempermudah aliran air. Sementara itu, simulasi Seep/W menggunakan asumsi material yang lebih homogen dan ideal, sehingga nilai (k) lebih kecil, yang menyebabkan debit rembesan lebih rendah.

Meskipun terdapat perbedaan, hasil debit rembesan yang tidak terlalu jauh menunjukkan bahwa simulasi Seep/W dapat memberikan prediksi yang cukup baik terhadap kondisi lapangan. Namun, nilai hasil lapangan tetap lebih representatif untuk kondisi aktual, sehingga penting untuk menggunakan hasil lapangan sebagai acuan utama dalam desain teknik yang mempertimbangkan keamanan terhadap rembesan. Kalibrasi antara hasil

simulasi dan data lapangan juga perlu dilakukan untuk meningkatkan keakuratan prediksi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian di jaringan irigasi Bendungan Batu Bulan kesimpulan yang dapat diambil sesuai dengan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan air yang signifikan terdeteksi pada semua blok saluran dengan rata rata 0,817 m³/dtk. Blok ke-3 mengalami kehilangan terbesar dengan debit air sebesar 1,476 m³/dtk, disebabkan oleh rembesan melalui saluran. Hal ini menyoroti kebutuhan perbaikan sistem saluran untuk meminimalkan kehilangan air, terutama di area dengan tingkat rembesan tinggi.
2. Efisiensi saluran irigasi bervariasi dengan rata-rata 78,78%. Blok ke-1 memiliki efisiensi tertinggi sebesar 87,5%, sementara Blok ke-6 menunjukkan efisiensi terendah sebesar 78,75%. Perbaikan infrastruktur dapat lebih meningkatkan efisiensi distribusi air.
3. Koefisien permeabilitas tanah terkecil pada campuran kapur 12% sebesar 0,001460 cm/det. Tingkat permeabilitas tanah di beberapa blok, yang diukur menggunakan koefisien 0,00003925 cm/det, menunjukkan variasi dalam kehilangan air. Penurunan nilai permeabilitas tanah melalui metode stabilisasi dapat menjadi solusi efektif.
4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit rembesan dengan program SEEP-W terbesar pada campuran kapur 4% sebesar 0,0489 sedangkan debit rembesan terkecil terjadi pada campuran kapur 12% sebesar 0,0126%. Penggunaan kapur sebagai metode stabilisasi tanah efektif untuk mengurangi rembesan

6.2. Saran

1. Perbaikan Infrastruktur Saluran Irigasi:
Mengingat kehilangan air yang signifikan di beberapa blok, terutama Blok 1, diperlukan perbaikan fisik pada saluran irigasi. Penggunaan lapisan anti-rembes

(lining) pada area yang mengalami rembesan tinggi akan membantu mengurangi kebocoran air.

2. Peningkatan Efisiensi dengan Pengelolaan Air yang Lebih Baik:

Disarankan untuk memperbaiki distribusi air melalui teknologi kontrol aliran yang lebih baik, seperti otomatisasi pintu air dan pengawasan debit secara berkala. Vegetasi di sekitar saluran harus dikelola untuk mencegah erosi dan kerusakan struktur saluran akibat akar tanaman.

3. Stabilisasi Tanah dengan Penggunaan Kapur:

Berdasarkan hasil uji permeabilitas, stabilisasi tanah dengan kapur (6%-10%) efektif dalam mengurangi rembesan. Perluasan proses ini ke blok lain dengan tingkat rembesan tinggi dapat memberikan hasil yang signifikan dalam mengurangi kehilangan air.

4. Pemeliharaan Rutin dan Pemeriksaan Saluran:

Pemeliharaan rutin sangat penting untuk mencegah kebocoran dan rembesan. Pemeriksaan visual secara berkala dan penggunaan alat deteksi kehilangan air dapat mencegah kerusakan besar di masa depan.

5. Pendekatan Teknologi Uji Numerik dalam Perencanaan:

Keberhasilan uji numerik dalam memprediksi rembesan dan kehilangan air menggarisbawahi pentingnya simulasi lanjutan. Teknologi ini dapat membantu menentukan solusi teknis spesifik, seperti perbaikan geometri saluran dan pemadatan tanah, serta mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian segera.

6.3. Implementasi

Untuk mewujudkan rekomendasi di atas, diperlukan beberapa langkah implementasi praktis sebagai berikut:

1. Studi Kelayakan Lining Saluran:

- a. Dilakukan kajian teknis mengenai jenis material lining yang cocok dengan kondisi lokal dan anggaran. Implementasi lining dapat dimulai di blok-blok yang menunjukkan kehilangan air terbesar, seperti Blok 4.

2. Program Stabilisasi Tanah:
 - a. Penerapan program stabilisasi tanah dengan kapur harus segera dimulai di wilayah dengan permeabilitas tinggi. Ini dapat dilakukan secara bertahap, dimulai dari daerah yang paling rawan rembesan.
3. Jadwal Pemeliharaan dan Inspeksi Rutin:
 - a. Membuat jadwal inspeksi dan pemeliharaan berkala untuk memantau kondisi fisik saluran. Operator perlu dilibatkan dalam proses ini dengan memberikan pelatihan yang memadai.
4. Sistem Otomatisasi Pintu Air:
 - a. Pemasangan perangkat kontrol aliran air otomatis dapat dilakukan pada pintu air utama untuk mengoptimalkan distribusi air di seluruh jaringan irigasi.
5. Kolaborasi dengan Universitas dan Lembaga Riset:
 - a. Untuk mengembangkan solusi teknis yang lebih canggih, kerjasama dengan universitas dan lembaga riset dapat membantu mengidentifikasi teknologi baru yang bisa diterapkan, termasuk pengembangan sistem pemantauan digital.
6. Sosialisasi kepada Petani dan Pengelola Air:
 - a. Dilakukan sosialisasi dan pelatihan untuk petani dan pengelola air tentang pentingnya menjaga efisiensi penggunaan air, serta cara melaporkan kebocoran atau kerusakan saluran dengan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini.(1997).Hidrolika Saluran Terbuka, (Surabaya: Citra Media)
- Anne Tuomela,2021.Using Geomembrane Liners to Reduce Seepage through the Base of Tailings Ponds—A Review and a Framework for Design Guidelines, *Geosciences* 2021, 11, 93.
- Agus Sumadiyono.2018, Analisis Efesinsi Pemberian Air Di Jaringan Irigasi Karau Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Jurusan Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung*
- Anonim. (2017). *Modul 12 Analisa Stabilitas Bendungan: Perhitungan Rembesan*. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Ashour M,2022 A comparative technical study to estimate seepage water fromirrigation canals in Middle Egypt (Case study: El-sont). *Jurnal Rekayasa Ain Syams*
- Agung H,(2021) Prediksi Debit Aliran Masuk Ke Telaga Menjer Menggunakan Persamaan Neraca Air Dan Pemodelan Hec-Hms. *Jurnal Teknik Hidraulik, Vol. 12 No. 2, Desember 2021. Hal : 119-130*
- Akkuzu, E.,2012.Kegunaan persamaan empiris dalam menilai rugi-rugi saluran melalui rembesan pada saluran beton. *J. Irrig. Mengeringkan. Eng.* 138 (5), 455–460.[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000414](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000414)
- Azmeri, dkk.2013.Observasi Garis Freatis pada Model Bendungan Berdasarkan Kepadatan Tanah Melalui Model Fisik”, Vol.20 No.1, Darussalam Banda Aceh
- Ahuchaogu I, dkk Evaluasi kehilangan rembesan di kanal yang dilapisi tanah: studi kasus Universitas Uyo Farm, Uyo, Nigeria. *IJESMR* 2015:2349-6193
- Bautista E (2009) Modern Analysis Of Surface Irrigation Systems With Winsrfr. *Agricultural Water Management* 96 (2009) 1146–1154

- Bijani M, (2015) Farmers' Perceptions toward Agricultural Water Conflict: The Case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran *J. Agr. Sci. Tech. (2015) Vol. 17: 561-575*
- Bunganaen, W., 2011. Analisis Efisiensi dan Kehilangan air pada Jaringan Utama Daerah Irigasi Air Sagu Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana, Vol 1 No.1.
- Chairunnisa N (2021) Analisis Neraca Air di Pulau Jawa-Bali sebagai Upaya Antisipasi Krisis Air. Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan| Eissn:2549-1407
- Chahar, BR, 2007. Analisis rembesan dari saluran poligon. *J. Hydraul. Eng.* 133 (4), 451–460. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:4\(451\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:4(451)). Eshetu, BD, Alamirew, T., 2018. Estimasi kehilangan rembesan pada saluran irigasi Perkebunan gula Tendaho, Etiopia. *Irigasi. Meringkan. Sistem. Eng.* 7 (3), 220. <https://doi.org/10.4172/2168-9768.1000220>.
- Christady, Hary, (2010). *Mekanika Tanah II*, Yogyakarta : Gajah Mada University press
- Dietrich Kristoph (2010) Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. K.-D. Kinzli et al. / *Agricultural Water Management* 97 (2010) 801–810
- Dharmayasa, I. G. N. P. (2018). Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 7(1), 53-62.
- Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum (1986), *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan* 01, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, Desember 1986; *Perencanaan Bagian Saluran, Kriteria Perencanaan Irigasi KP-03*, Jakarta.
- Download. Geostudio 2018 R2. go.id Internet Source
- Dimas Haryadi, Mawardi Mawardi, Makmun R. Razali. "Analisis Lereng Terasering Dalam Upaya Penanggulangan Longsor Metode Fellenius Dengan Program Geostudio Slope", *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 2019

- Experiment Instruction Drainage and Seepage Tank(1999).Gunt Humburg,Germany
- Farzin Salmasi,(2020) Memprediksi rembesan dari saluran tanah tak bergaris menggunakan metode elemen hingga dan regresi nonlinier multivariable
Pengelolaan Air Pertanian 234 (2020) 106148
- Hasan, M. 2005. Bangunan Irigasi Dukung Ketahanan Pangan. Majalah Air, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Herry.2009, Efisiensi Penyaluran Air Irigasi Di Kawasan Sungai Ular Daerah Irigasi Bendang Kabupaten Serdang Begadai. Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Idfi (2010). Tugas Akhir : Studi Keseimbangan Air Pada Daerah Irigasi Delta Brantas (Saluran Mangetan Kanal) Untuk Kebutuhan Irigasi Dan Industri. Teknik Sipil ITS.
- Khan AK. Hubungan antara rembesan dan debit untuk Sungai Kabul di distrik Nowshera. Ilmu Kedokteran Hewan Pakistan J Agric Agric Eng 2015;31 (2):249–59.
- Khan TA. Estimasi neraca air tanah dan rembesan dari berbagai kanal dan sungai di distrik Nowshera. Int J Eng Res Technol (ijert) 2015;4 (7):392–404.
- Kartasapoetra, AG., dan M. Sutedjo 1994. Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi, Bumi Aksara.
- Lourina EO, Suwignyo, Farullah H, *Penggunaan Counterweight Terhadap Kestabilan Lereng Bendungan*. SENTRA. 2020
- Laporan Praktikum Mekanika Tanah Fakultasteknik Universitas Samawa
- Linsley Ray K., Joseph B. Franzini, (1985), *Teknik Sumber Daya Air*. Eralanga, Jakarta
- Mohammadi et al. (2019) Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran / Global Ecology and Conservation 18 (2019) e00646
- Martin CA. Ketidakpastian dalam mengukur rembesan dari saluran irigasi tanah menggunakan metode inflow-outflow dan dalam mengevaluasi efektivitas aplikasi poliakrilamida untuk pengurangan rembesan. Universitas Negeri Colorado; 2015. Disertasi Doktoral.

- Meilianda, Ella. 2014 Jurnal Efisiensi Irigasi Pada Petak Tersier Di Dearha Irigasi Lawe Bulan Kabupaten Aceh Tenggara. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- Muhammad Toyeb. "Analisis Balik Kuat Geser Tanah Terstabilisasi Semen Dengan Metode Numerik", Racic : Rab Construction Research, 2020
- Rahmadani S, Nurrochmad F, Sujono J. Analisis sistem pemberian air terhadap tanah sawah berbahan organik. Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil. 2020; 6(2): 66-75.
- Nur Zun Viqh, Evaluasi Kinerja Jaringan Irigasi Tingkat Tersier Unit Pelaksanaan Teknis Pengairan Kota Metro Daerah Irigasi Kanpung Batanghari. Jurnal Teknik Pertanian, Volume 1, Nomor 21 Oktober 2012.
- Nippon Koei, 2004. "Design Review and Modification Report of Karau Irrigation Sub Project", Ministry of Public Works.
- Pratikso, "*Bahan Ajar Mekanika Tanah II*" Universitas Islam Sultan Agung Semarang 2019
- Projono S. 2018. Simulasi dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air tanaman tebu di wilayah Malang. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan. 5(1): 663-672
- S.Imam Wahyudi, Soedarsono, 2018, Analisis Efisiensi Jaringan Saluran Irigasi D.I Kabuyutan, Jurnal Program Magister Teknik sipil, Universitas Islam sultan Agung Semarang
- Sudjarwadi, 1987, Dasar-dasar Teknik Irigasi, (Yogyakarta: BP KMTS UGM).
- Salemi, dkk 2006. Modifikasi Persamaan Eksperimen Kebocoran Airdari saluran di daerah Rudasht Isfahan. Sains. Technol. Pertanian. Nat. Res. 10 (1), 29–42 (dalam bahasa Persia).
- Sytarya dan Achmadi Partowijoto, 2000, Penelitian Kehilangan Air Pada Saluran Irigasi Primer dan Sekunder di Daerah Irigasi Kelingi-Tugu Mulyo, Sumatra Selatan. Jurnal Penelitian Fakultas Pertanian UNILA.
- Sumadiyono Agus Analisis Efisiensi Pemberian Air Di Jaringan Irigasi Karau Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah. Jurusan Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung

- Sarah, D., Imron, A., Hardiyati, S., & Sadono, K. W. (2017). Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, Dan Beban Gempa. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 83-90.
- Supriadi H (2018) Pengembangan Investasi Irigasi Kecil Untuk Peningkatan Produksi Padi Mendukung Swasembada Beras. *Analisis Kebijakan Pertanian, Analisis Kebijakan Pertanian*, Vol. 16 No. 1, Juni 2018: 43-57
- Stuurop Joris (2022) Groundwater seepage causes surface runoff and erosion during snowmelt in the area tile-dried agricultural catches: Field observations and modeling analysis. *jurnal:www.elsevier.com/locate/catena*
- Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper
- Surianarayanan, 2017 Sustainable Irrigation Allocation Model for Dry and Wet Periods using Reservoir Storage and Inflow. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 80 (2017) 012072
- Susilowati (2020) Optimasi Rencana Tanam Dan Pemberian Air Irigasi Menuju Modernisasi Irigasi Di Daerah Irigasi Ciliman. *Jurnal Irigasi – Vol. 15, No. 2 (2020), Hal. 95-108*
- Swamee PK, dkk. Desain bagian kanal kehilangan rembesan minimum. *J Irrig Drain Eng* 2000;126(1):28–32.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, Andi, Yogyakarta
- Terzaghi, K, and Peck, R. “Soil Mechanics In Engineering Practice”, John Wiley & Sons, New York. 1969
- Taufiq, Muhammad dan Wahyu Kurniawan. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dan Rembesan pada Bendungan Logung di Jawa Tengah Menggunakan Plaxis 8.6 dan Geostudio 2007. Tugas Akhir. Semarang : Universitas Islam Sultan Agung Semarang (UNISSULA).
- Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. Beta, Yogyakarta.
- Victor Anton Sutresno, 2022 Studi Perbandingan Desain Inti Bendung Dengan Pemakaian Material Alternatif Untuk Optimasi Biaya, *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* Volume 20, Nomor 3, Agustus 2022
- Waskito Fajar (2016) Analisis Rembesan Pada Bendungan Cengklik Menggunakan Metode Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dan Uji Permeabilitas

Untuk Menghitung Debit Rembesan *Vol. 5, No. 4, Oktober 2016, Hal. 425-432*

Wicaksana, Surya P, 2014, *Analisis Aliran Air Tanah di Bawah Turap dengan Uji Coba Laboratorium*, Jurnal Teknik Universitas Sriwijaya

Wilson, E.M. (1993). Hidrologi Teknik. Penerbit ITB Bandung, Bandung

Xudong Han ,2021, Model numerik tiga dimensi yang digabungkan sepenuhnya untuk memperkirakan rembesan saluran dengan retakan dan lubang pada kerusakan lapisan saluran. Jurnal Hidrologi 597 (2021) 126094

Yurizal Biahimo, David Rumambi, Daniel Ludon, Sandra Pakasi. Analisis Efisiensi Penyaluran Air Irigasi Dengan Sistem Informasi Geografis Bendungan Lomaya Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Universitas Sam Ratulangi Manado.

Yusof A (2021) Monitoring of Soil Moisture Using Smart Irrigation System in Chinese Cabbage (*Brassica Chinensis*) Cultivation. *AAFRJ* 2022, 3, 1; a0000252; <https://doi.org/10.36877/aafjr.a0000252>

Akkuzu, E. (2012). Kegunaan persamaan empiris dalam menilai rugi-rugi saluran melalui rembesan pada saluran beton. *J. Irrig. Mengineering*. Eng. 138(5), 455-460. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000414](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000414)

Azmeri, dkk. (2013). *Observasi Garis Freatis pada Model Bendungan Berdasarkan Kepadatan Tanah Melalui Model Fisik*. Vol. 20 No.1, Darussalam Banda Aceh.

Ahuchaogu I, dkk. (2015). *Evaluasi Kehilangan Rembesan di Kanal yang Dlapisi Tanah: Studi Kasus Universitas Uyo Farm, Uyo, Nigeria*. *IJESMR* 2015:2349-6193.

Bautista E. (2009). *Modern Analysis Of Surface Irrigation Systems With Winsrfr*. *Agricultural Water Management*, 96 (2009), 1146-1154.

Bijani M. (2015). *Farmers' Perceptions toward Agricultural Water Conflict: The Case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran*. *J. Agr. Sci. Tech.* (2015), Vol. 17: 561-575.

- Bunganaen, W. (2011). *Analisis Efisiensi dan Kehilangan Air pada Jaringan Utama Daerah Irigasi Air Sagu*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana, Vol 1 No.1.
- Chairunnisa N. (2021). *Analisis Neraca Air di Pulau Jawa-Bali sebagai Upaya Antisipasi Krisis Air*. Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan | ISSN: 2549-1407.