

**ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR
TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH
(Studi kasus: Area Landfill Pabrik Pulp PT.PRI)**

SKRIPSI



Disusun Oleh:

RIZAL HADI PRATAMA

202412044

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KALTARA
2026**

**ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR
TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH
(Studi kasus: Area Landfill Pabrik Pulp PT.PRI)**

SKRIPSI



Disusun Oleh:
RIZAL HADI PRATAMA
202412044

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KALTARA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizal Hadi Pratama

NPM : 202412044

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya buat dengan judul :

ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH (Studi kasus: Area Landfill Pabrik Pulp PT.PRI)

Yang di buat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Kaltara. Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah di publikasikan dan atau pernah di pakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan dilingkungan Universitas Kaltara maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, Kecuali Bagian Sumber Informasi yang di cantumkan sebagaimana mestinya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun,

Tanjung Selor, Juli 2026



Rizal Hadi Pratama
202412044

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

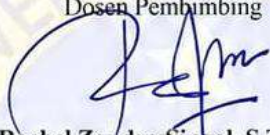
**ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR
TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH
(Studi kasus : Area *Landfill* Pabrik *Pulp* PT.PRI)**

Disusun oleh :

Rizal Hadi Pratama
NPM. 202412044

Tanjung Selor, 29 Juli 2026 Menyetujui,

Dosen Pembimbing


Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T.
NIDN. 11.031079.01

Dosen Penguji I,


Ir. Enny Harvivanti, S.T., M.T.
NIDN. 11.220786.02

Dosen Penguji II,


Zainal Abidin, S.T., M.Pd.
NIDN. 11.130170.02

Menyetujui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil


Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T.
NIDN. 11.031079.01

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik


Ir. Enny Harvivanti, S.T., M.T.
NIDN. 11.220786.02

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T.

Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH (Studi kasus: Area *Landfill* Pabrik *Pulp* PT.PRI)

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas, Kaltara.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan dan bimbingan dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Sehingga dengan penuh kerendahan hati dan rasa hormat penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Didi Adriansyah, S.T.P., M.M. selaku Rektor Universitas Kaltara
2. Ir. Enny Harviyanti, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Kaltara
3. Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil
4. Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T, selaku pembimbing utama.
5. Ir. Enny Harviyanti, S.T., M.T, selaku dosen penguji 1, atas kesediaan dan masukan yang diberikan dalam menguji skripsi ini.
6. Zainal Abidin, S.T., M.Pd., selaku dosen penguji 2, atas kesediaan dan masukan yang diberikan dalam menguji skripsi ini.
7. Para dosen dan staf pengajar di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan berharga selama masa perkuliahan. Pengalaman yang penulis peroleh di kelas telah menjadi pondasi kuat dalam menyelesaikan penelitian ini
8. Pihak PT Phoenix Resources International (PRI) yang telah memberikan izin penelitian.
9. Kedua orang tua ,Bapak Suhadi dan Ibu Siti Sundari yang telah mendukung saya , mendoakan saya, hingga di berikan kelancaran dan keberkahan dalam mengerjakan Skripsi ini

10. Calon Istri saya Hadrhatul Maulidia Zuhri yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini
11. Terima Kasih pada saya sendiri yang telah berjuang untuk mendapatkan gelar sarjana teknik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam kajian infiltrasi tanah di kawasan industri.

Tanjung Selor, 31 Juli 2026

Rizal Hadi Pratama
NPM: 202412044

Nama: Rizal Hadi Pratama	Dosen Pembimbing
NPM:202412044	Ir.Rachel Zandra Singal,S.T., M.T.
Prodi Teknik Sipil	NIDN. 11.031079.10
<p style="text-align: center;">ANALISIS LAJU INFILTRASI AIR TERHADAP POTENSI PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH (Studi kasus: Area <i>Landfill</i> Pabrik <i>Pulp</i> PT.PRI)</p>	
<p style="text-align: center;">ABSTRAK</p> <p>Aktivitas landfill berpotensi menghasilkan lindi yang dapat memengaruhi kualitas lingkungan, khususnya air bawah tanah apabila terjadi pergerakan lindi melalui lapisan tanah. Kemampuan tanah dalam meresapkan air menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi potensi penyebaran lindi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju infiltrasi tanah, karakteristik fisik tanah, serta mengevaluasi potensi pergerakan lindi dan potensi pencemaran air bawah tanah pada area <i>landfill</i> PT.<i>Phoenix Resources International</i> (PRI).Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif. Pengukuran laju infiltrasi dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan <i>Double Ring Infiltrometer</i> pada lima titik pengamatan yang ditentukan secara purposive sampling. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan metode Horton untuk mengetahui karakteristik perubahan laju infiltrasi terhadap waktu. Analisis pendukung dilakukan melalui pengujian sifat fisik tanah meliputi tekstur tanah, bulk density, porositas, dan kadar air. Evaluasi potensi pergerakan lindi dilakukan berdasarkan klasifikasi infiltrasi <i>Soil Conservation Service (SCS)</i>, sedangkan kualitas lindi dibandingkan dengan baku mutu lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai laju infiltrasi pada lima titik pengamatan berkisar antara 29,5-35,5 mm/jam dengan nilai rata-rata sebesar 32,8 mm/jam. Berdasarkan klasifikasi SCS, nilai tersebut termasuk dalam kelas infiltrasi sedang (20-63 mm/jam). Hasil analisis metode Horton menunjukkan bahwa laju infiltrasi mengalami penurunan secara eksponensial hingga mencapai kondisi infiltrasi konstan. Karakteristik tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tekstur <i>Sandy Clay Loam</i> hingga <i>Clay Loam</i> dengan komposisi rata-rata pasir 50,6%, debu 20,0%, dan liat 29,4%. Nilai bulk density rata-rata sebesar 1,44 g/cm³, porositas 45,81%, dan kadar air tanah 29,9% menunjukkan bahwa kondisi fisik tanah mendukung kemampuan infiltrasi dalam kategori sedang.Berdasarkan hasil analisis, potensi pergerakan lindi menuju lapisan tanah berada pada kategori sedang. Hasil pengujian kualitas lindi menunjukkan bahwa sebagian besar parameter telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. P.59 Tahun 2016, sehingga beban pencemar relatif terkendali. Keberadaan sistem pengelolaan landfill berupa <i>geomembran HDPE</i> dan <i>Leachate Treatment Plant (LTP)</i> juga berperan dalam mengurangi risiko perembesan lindi ke dalam tanah. Dengan demikian, potensi pencemaran air bawah tanah pada area penelitian dikategorikan rendah hingga sedang.</p>	
<p>Kata Kunci: Infiltrasi, Landfill, Lindi, Air Bawah Tanah, Model Horton.</p>	

Name: Rizal Hadi Pratama	Consellor
NPM:202412044	Ir.Rachel Zandra Singal,S.T., M.T.
Departement Civil Engineering	NIDN. 11.031079.10
<p align="center">ANALYSIS OF SOIL WATER INFILTRATION RATE ON THE POTENTIAL FOR GROUNDWATER CONTAMINATION (A Case Study of the Landfill Area at PT Phoenix Resources International Pulp Mill)</p>	
<p align="center">ABSTRACT</p> <p>Landfill activities have the potential to generate leachate that can impact environmental specifically groundwater should the leachate migrate through the soil layers. Soil water infiltration capacity is a key factor influencing the potential spread of leachate. This study aimed to analyze soil infiltration rates and physical soil characteristics, as well as to evaluate the potential for leachate migration and groundwater contamination at the PT Phoenix Resources International (PRI) landfill site. A quantitative approach utilizing a descriptive method was employed. Infiltration rates were measured directly in the field using a double-ring infiltrometer at quality five observation points selected via purposive sampling. The measurement data were analyzed using the Horton method to determine the characteristics of infiltration rate changes over time. Supplementary analysis involved testing physical soil properties, including texture, bulk density, porosity, and moisture content. The potential for leachate migration was evaluated based on the Soil Conservation Service (SCS) infiltration classification, while leachate quality was compared against the standards set by the Regulation of the Minister of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia Number P.59 of 2016. The results indicated that infiltration rates at the five observation points ranged from 29.5 to 35.5 mm/hour, with an average of 32.8 mm/hour. Based on the SCS classification, these values fall within the moderate infiltration class (20–63 mm/hour). Horton method analysis showed that the infiltration rate decreased exponentially until reaching a constant infiltration state. Soil characteristics at the site were dominated by sandy clay loam to clay loam textures, with an average composition of 50.6% sand, 20.0% silt, and 29.4% clay. The average bulk density (1.44 g/cm³), porosity (45.81%), and soil moisture content (29.9%) indicate that the physical soil conditions support a moderate infiltration capacity. Based on the analysis, the potential for leachate migration into the soil layers is classified as moderate. Leachate quality test results indicate that most parameters comply with the standards set by the Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. P.59 of 2016, meaning pollutant loads are relatively well controlled. The landfill management system comprising an HDPE geomembrane and a Leachate Treatment Plant (LTP), also plays a role in mitigating the risk of leachate seeping into the soil. Consequently, the potential for groundwater contamination in the study area is categorized as low to moderate.</p>	
<p>Keywords: Infiltration, Landfill, Leachate, Groundwater, Horton Model..</p>	

DAFTAR ISI

JUDUL	ii
PERYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1 Manfaat Teoritis.....	6
1.5.2 Manfaat Praktis	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Landasan Teori	10
2.1.1 Hidrologi.....	10
2.1.2 Siklus Hidrologi	10
2.1.3 Infiltrasi.....	12
2.1.4 Kapasitas Infiltrasi	14
2.1.5 Metode Horton.....	15
2.1.6 Pengukuran Infiltrasi.....	16
2.1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi	18
2.1.8 Potensi Pencemaran berdasarkan dengan laju Infiltrasi	20
2.1.9 Parameter Kualitas Air sebagai Indikator Potensi Pencemaran.....	21
2.1.10 <i>Landfill</i> Industri <i>Pulp</i> dan Potensi Pembentukan Lindi	24
2.2 Diagram Alir Pemikiran	27
2.3 Hipotesis	28

2.4 Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Pendekatan Penelitian.....	31
3.3 Penentuan Titik Sampel	31
3.4 Prosedur Pengukuran Infiltrasi di Lapangan	32
3.5 Alat dan Bahan	32
3.6 Teknik Pengumpulan Data	33
3.6.1 Penentuan Titik Sampel	33
3.6.2 Data Primer	33
3.6.3 Data Sekunder.....	34
3.6.4 Alat <i>Double Ring Infiltrometer</i>	34
3.7 Parameter Penelitian.....	35
3.8 Metode Analisis Data	37
3.8.1 Pengukuran Laju Infiltrasi	37
3.8.2 Laju Infiltrasi Dengan Metode Horton	37
3.8.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi	37
3.9 Analisis Potensi Pencemaran.....	38
3.9.1 Potensi Pencemaran menurut Klasifikasi SCS	38
3.9.2 Analisis Kualitas Air Tanah.....	38
3.9.3 Analisis Kualitas Lindi	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	40
4.1.1 Lokasi Penelitian.....	40
4.1.2 Kondisi Geologi dan Profil Tanah	40
4.1.3 Curah Hujan.....	41
4.1.4 Titik Pengamatan	41
4.2 Hasil Pengukuran Lapangan	42
4.2.1 Hasil Pengukuran Infiltrasi	42
4.2.2 Hasil Pengukuran Infiltrasi Pada Tiap Titik	42
4.2.3 Hasil Kualitas Lindi	43
4.3 Analisis Laju Infiltrasi	44
4.3.1 Perhitungan Laju Infiltrasi	44
4.3.2 Klasifikasi Laju Infiltrasi Berdasarkan SCS	44

4.4 Grafik Infiltrasi	45
4.5 Analisis Metode Horton.....	48
4.4.1 Penentuan Parameter Horton	48
4.4.2 Kurva Horton	49
4.6 Interpretasi	51
4.7 Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Laju Infiltrasi	51
4.7.1 Hasil Karakteristik Tanah	51
4.8 Analisis Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah	54
4.8.1 Analisis Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah Berdasarkan Klasifikasi SCS.....	54
4.8.2 Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Baku Mutu Lindi	54
4.9 Pembahasan Umum	55
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
RIWAYAT HIDUP.....	61
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Laju Infiltrasi .	26
Tabel 2.2. Klasifikasi Kelas Tekstur Tanah	31
Tabel 2.3. Klasifikasi Kepadatan Tanah.	32
Tabel 2.4. Klasifikasi Kadar Air Tanah	32
Tabel 2.5. Klasifikasi Porositas Tanah	33
Tabel 2.6. Kriteria Potensi Pencemaran Air bawah Tanah Berdasarkan Nilai Infiltrasi	34
Tabel 2.7. Parameter Kualitas Tanah	36
Tabel 2.8. Baku Mutu Lindi	38
Tabel 3.1 Parameter Penelitian	49
Tabel 4.1. Hasil Laju Infiltrasi	56
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Infiltrasi Pada Tiap Titik	56
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Laju Infiltrasi	57
Tabel 4.4 Hasil Kualitas Lindi	57
Tabel 4.5 Laju Infiltrasi Yang Diperoleh	58
Tabel 4.6 Klasifikasi Laju Infiltrasi Berdasarkan SCS	59
Tabel 4.7 Hasil Analisa Tekstur Tanah Area Landfill	66
Tabel 4.8 Hasil Analisis Kepadatan Tanah (<i>Bulk Density</i>)	66
Tabel 4.9 Hasil Laboratorium Kadar Air Tanah	67
Tabel 4.10 Hasil Laboratorium Porositas Tanah	67
Tabel 4.11. Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Klasifikasi SCS	68
Tabel 4.12 Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Baku Mutu Lindi	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Hidrologi	24
Gambar 2.2 Kurva Kapasitas Infiltrasi	28
Gambar 2.3. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.1 Layout <i>Landfill</i>	47
Gambar 3.2 <i>Double Ring Infiltrometer</i>	49
Gambar 4.1 Profil Tanah	54
Gambar 4.2 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-01.	60
Gambar 4.3 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-02.	61
Gambar 4.4 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-03.	61
Gambar 4.5 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-04.	62
Gambar 4.6 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-05.	62
Gambar 4.7 Grafik Horton Titik Sampel LF-01.	65
Gambar 4.8 Grafik Horton Titik Sampel LF-02.	65
Gambar 4.9 Grafik Horton Titik Sampel LF-03.	66
Gambar 4.10 Grafik Horton Titik Sampel LF-04.	66
Gambar 4.11 Grafik Horton Titik Sampel LF-04.	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang memiliki peranan fundamental dalam menunjang kehidupan seluruh makhluk hidup. Keberadaan air tidak hanya diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia, tetapi juga berfungsi dalam mendukung berbagai aktivitas pertanian, industri, dan menjaga keseimbangan lingkungan. Air berperan sebagai media transportasi unsur hara, penyusun utama protoplasma, bahan baku fotosintesis, serta pendukung berbagai proses metabolisme yang terjadi pada makhluk hidup. Oleh karena itu, ketersediaan air yang memadai menjadi faktor penting dalam mempertahankan keberlanjutan ekosistem dan mendukung aktivitas manusia.

Ketersediaan air pada suatu wilayah dipengaruhi oleh proses yang berlangsung dalam siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan proses peredaran air yang terjadi secara terus-menerus dari atmosfer menuju permukaan bumi dan kembali lagi ke atmosfer. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan mengalami berbagai proses, seperti evapotranspirasi, limpasan permukaan (*runoff*), infiltrasi, dan perkolasi. Sebagian air akan kembali ke atmosfer melalui penguapan, sebagian mengalir di permukaan tanah, dan sebagian lainnya meresap ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Air yang masuk ke dalam tanah kemudian bergerak menuju lapisan yang lebih dalam dan menjadi bagian dari cadangan air tanah. Salah satu komponen penting dalam siklus hidrologi yang menentukan jumlah air yang dapat tersimpan di dalam tanah adalah infiltrasi. Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah melalui pori-pori tanah akibat pengaruh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Proses ini berperan penting dalam pengisian kembali cadangan air tanah serta pengendalian limpasan permukaan. Menurut Setiawan et al. (2022), infiltrasi dipengaruhi oleh kondisi fisik tanah dan penggunaan lahan sehingga setiap jenis lahan memiliki kemampuan infiltrasi yang berbeda.

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam lapisan tanah melalui pori-pori tanah secara vertikal. Dalam siklus hidrologi, infiltrasi memegang peranan penting karena menentukan jumlah air yang meresap ke dalam tanah serta memengaruhi besarnya aliran permukaan. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekstur tanah, struktur tanah, porositas, kadar air awal tanah, penggunaan lahan, kemiringan lereng, serta kerapatan vegetasi penutup lahan. Semakin besar laju infiltrasi pada suatu lokasi maka semakin besar pula potensi air untuk bergerak menuju lapisan bawah tanah. (Indra Wahyu Setiawan, 2022)..

Infiltrasi memiliki keterkaitan yang erat dengan keberadaan air tanah. Air tanah terbentuk dari air hujan yang meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi hingga mencapai lapisan akuifer. Akuifer berfungsi sebagai media penyimpanan air tanah yang menjadi salah satu sumber air penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, karakteristik infiltrasi suatu wilayah akan sangat memengaruhi kuantitas dan kualitas air tanah yang tersedia.

Selain berfungsi sebagai mekanisme pengisian kembali cadangan air tanah, infiltrasi juga berperan sebagai media transportasi berbagai zat terlarut di dalam tanah. Air yang meresap ke dalam tanah berpotensi membawa unsur-unsur alami maupun kontaminan yang berasal dari aktivitas manusia. Apabila terdapat sumber pencemar di permukaan tanah, maka air infiltrasi dapat menjadi media yang mengangkut zat pencemar menuju lapisan air bawah tanah. Dengan demikian, infiltrasi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi tingkat kerentanan air bawah tanah terhadap pencemaran. Infiltrasi tidak hanya berfungsi sebagai proses pengisian air tanah, tetapi juga sebagai media transportasi zat terlarut. Air yang meresap ke dalam tanah dapat membawa berbagai senyawa pencemar menuju lapisan bawah tanah. infiltrasi air hujan pada area landfill berperan dalam pembentukan dan pergerakan lindi yang mengandung senyawa organik, amonia, serta logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikendalikan dengan baik. (Abdel-Shafy et al. 2024)

Perkembangan industri pulp dan kertas memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Namun, aktivitas industri tersebut juga menghasilkan berbagai jenis limbah yang berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu sumber pencemaran yang perlu mendapat perhatian adalah area landfill yang digunakan sebagai tempat penimbunan limbah padat industri pulp dan kertas. Limbah yang ditimbun dalam landfill akan mengalami proses dekomposisi dan menghasilkan air lindi (leachate). Menurut Abdel-Shafy et al. (2024), lindi merupakan cairan yang terbentuk akibat infiltrasi air hujan yang melarutkan berbagai senyawa yang terkandung dalam limbah sehingga berpotensi mengandung bahan organik, amonia, logam berat, serta senyawa pencemar lainnya.

PT Phoenix Resources International merupakan salah satu industri pulp yang menghasilkan limbah padat yang dikelola melalui sistem landfill. Kondisi curah hujan yang tinggi di Kota Tarakan berpotensi meningkatkan infiltrasi air hujan ke dalam area landfill sehingga memperbesar kemungkinan terbentuknya air lindi. Apabila air lindi tersebut meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi, maka kualitas air bawah tanah di sekitar landfill dapat mengalami penurunan akibat masuknya berbagai parameter pencemar seperti *BOD*, *COD*, *TDS*, amonia, logam berat, dan senyawa organik lainnya.

Air lindi yang terbentuk pada landfill umumnya berasal dari infiltrasi air hujan yang meresap ke dalam timbunan limbah. Air tersebut kemudian melarutkan berbagai senyawa yang terdapat pada material limbah dan bergerak menuju lapisan tanah yang lebih dalam. Apabila sistem pengelolaan landfill tidak mampu mengendalikan pergerakan air lindi, maka pencemaran terhadap tanah dan air bawah tanah dapat terjadi. Air bawah tanah yang telah tercemar berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan maupun kesehatan masyarakat yang memanfaatkan sumber air tersebut. (Sonia, 2025 at *BOD and COD Content of Leachate from Air Dingin Landfill, Padang City*)

Penelitian mengenai infiltrasi pada kawasan industri penting dilakukan karena dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan tanah dalam

menyerap air dan potensi risiko lingkungan yang mungkin terjadi. Informasi mengenai laju infiltrasi dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik tanah serta hubungan antara kondisi tanah dengan pergerakan air menuju lapisan bawah permukaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dalam pengelolaan lingkungan perusahaan, khususnya dalam upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran air bawah tanah (Bachtiar et al., 2022).

Penelitian mengenai laju infiltrasi telah banyak dilakukan pada berbagai penggunaan lahan menggunakan metode Double Ring Infiltrometer dan model Horton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan karakteristik lahan dapat memengaruhi kapasitas infiltrasi tanah secara signifikan. Model Horton dinilai mampu menggambarkan perubahan laju infiltrasi dari kondisi awal hingga mencapai kondisi konstan dengan tingkat akurasi yang baik dibandingkan model empiris lainnya. Oleh karena itu, model Horton banyak digunakan dalam penelitian infiltrasi untuk mengevaluasi kemampuan tanah dalam menyerap air. (Indra Wahyu Setiawan, 2022)

Analisis laju infiltrasi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Model Horton karena model tersebut mampu menggambarkan perubahan laju infiltrasi dari kondisi awal hingga kondisi konstan. Setiawan et al. (2022) dan Bagaskoro et al. (2021) menunjukkan bahwa Model Horton memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap kondisi infiltrasi aktual di lapangan dan lebih sederhana dalam penerapannya dibandingkan model infiltrasi lainnya. Selain memiliki tingkat akurasi yang baik dalam menggambarkan kondisi lapangan, parameter yang digunakan dalam model Horton relatif mudah diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *Double Ring Infiltrometer*, yaitu laju infiltrasi awal (f_0), laju infiltrasi konstan (f_c), dan konstanta penurunan infiltrasi (K). Dengan menggunakan model Horton, diharapkan nilai laju infiltrasi yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi infiltrasi tanah pada area landfill secara lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai laju infiltrasi tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International?
2. Faktor-faktor apa saja yang memengaruhi laju infiltrasi tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International?
3. Bagaimana potensi pencemaran air bawah tanah berdasarkan nilai laju infiltrasi pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai laju infiltrasi tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International.
2. Mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi laju infiltrasi tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International.
3. Mengetahui potensi pencemaran air bawah tanah berdasarkan nilai laju infiltrasi tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan hanya pada area *landfill* yang berada di lingkungan operasional PT. Phoenix Resources International sebagai lokasi pengamatan.
2. Pengukuran laju infiltrasi tanah dilakukan menggunakan metode *Double Ring Infiltrometer* sesuai kondisi lapangan pada saat penelitian berlangsung.
3. Data yang dianalisis terbatas pada nilai laju infiltrasi tanah yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dan parameter fisik tanah yang dapat diamati secara langsung.

4. Faktor-faktor yang memengaruhi laju infiltrasi dalam penelitian ini dibatasi pada kondisi fisik tanah, seperti tekstur tanah, kepadatan tanah, kadar air tanah, tutupan permukaan tanah, dan kondisi topografi lokasi penelitian.
5. Penelitian tidak mencakup analisis laboratorium secara rinci mengenai sifat kimia tanah, sifat biologis tanah, maupun karakteristik geoteknik lanjutan.
6. Analisis potensi pencemaran air bawah tanah dilakukan berdasarkan interpretasi nilai laju infiltrasi tanah dan kondisi eksisting area *landfill*, serta tidak mencakup pengujian kualitas air tanah secara langsung.
7. Penelitian tidak membahas desain, perencanaan, maupun evaluasi sistem pengelolaan *landfill* dan pengolahan lindi (*leachate*) yang diterapkan oleh perusahaan.
8. Hasil penelitian berlaku untuk lokasi dan waktu pengamatan penelitian, sehingga tidak dimaksudkan untuk mewakili seluruh kondisi *landfill* di lokasi lain.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan wawasan ilmiah di bidang hidrologi lingkungan, khususnya mengenai karakteristik laju infiltrasi tanah pada area *landfill*.
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah mengenai hubungan antara laju infiltrasi tanah dengan potensi pencemaran air bawah tanah pada kawasan industri, terutama pada area *landfill*.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian akademik mengenai penerapan metode *Double Ring Infiltrometer* dan model Horton dalam analisis laju infiltrasi tanah.
4. Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi dan bahan rujukan bagi peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian terkait infiltrasi tanah, air tanah, dan potensi pencemaran lingkungan pada kawasan industri.

1.5.2 Manfaat Praktis

1. PT. Phoenix Resources International

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi laju infiltrasi tanah pada area *landfill* sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dalam pengelolaan lingkungan perusahaan. Selain itu, hasil penelitian dapat menjadi dasar pertimbangan dalam upaya pencegahan dan pengendalian potensi pencemaran air bawah tanah akibat aktivitas operasional *landfill*.

2. Peneliti

Penelitian ini dapat menjadi sarana untuk menerapkan ilmu yang diperoleh selama perkuliahan, khususnya dalam bidang hidrologi, teknik lingkungan, dan konservasi sumber daya air. Selain itu, penelitian ini juga dapat meningkatkan kemampuan peneliti dalam melakukan pengukuran infiltrasi, pengolahan data, dan analisis lingkungan secara ilmiah.

3. Akademisi

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam kegiatan pembelajaran, penelitian, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan infiltrasi tanah, air bawah tanah, serta pengelolaan lingkungan pada kawasan industri.

4. Pemerhati Lingkungan dan Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pentingnya karakteristik infiltrasi tanah dalam kaitannya dengan potensi pencemaran air bawah tanah. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai salah satu dasar dalam upaya perlindungan dan pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya kajian mengenai laju infiltrasi tanah dan hubungannya dengan potensi pencemaran air bawah tanah pada area *landfill* di PT. Phoenix Resources International.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep air, hidrologi, siklus hidrologi, infiltrasi, faktor-faktor yang memengaruhi infiltrasi, kapasitas infiltrasi, metode Horton, pengukuran infiltrasi menggunakan *Double Ring Infiltrometer*, air tanah, pencemaran air bawah tanah, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan infiltrasi dan potensi pencemaran air bawah tanah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian, alat dan bahan penelitian, variabel penelitian, teknik pengumpulan data, prosedur pengukuran laju infiltrasi menggunakan *Double Ring Infiltrometer*, metode analisis data menggunakan model Horton, serta tahapan penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari pengukuran laju infiltrasi di area *landfill* PT. Phoenix Resources International. Hasil tersebut kemudian dianalisis dan dibahas berdasarkan teori yang digunakan, meliputi nilai laju infiltrasi tanah, faktor-faktor yang memengaruhi infiltrasi pada lokasi penelitian, serta mengetahui potensi pencemaran air bawah tanah berdasarkan karakteristik infiltrasi dan kondisi eksisting area *landfill*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan. Selain itu, disampaikan pula saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan, peneliti selanjutnya, maupun pihak terkait dalam pengelolaan lingkungan dan penelitian mengenai infiltrasi serta potensi pencemaran air bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat seluruh sumber referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi, baik berupa buku, jurnal ilmiah, peraturan, maupun sumber ilmiah lainnya yang relevan dengan penelitian.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi data pendukung penelitian, seperti data hasil pengukuran infiltrasi, dokumentasi kegiatan lapangan, perhitungan model Horton, tabel data penelitian, dan dokumen lain yang mendukung hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Hidrologi

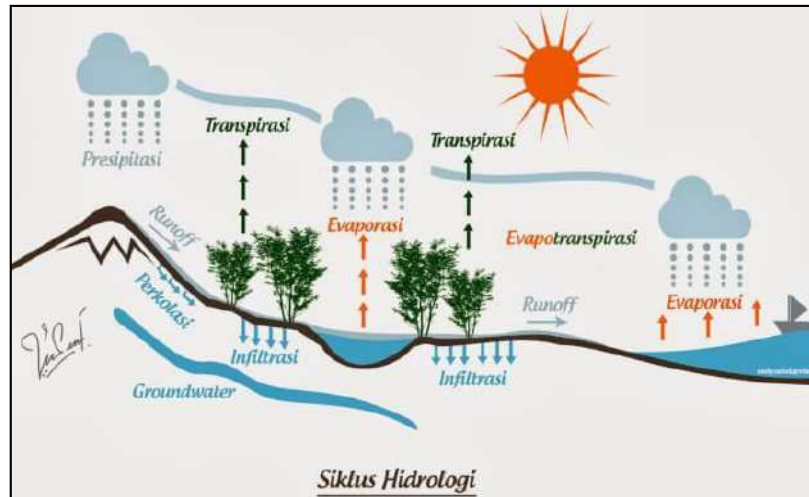
Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari keberadaan, distribusi, pergerakan, dan kualitas air di bumi, baik yang berada di atmosfer, permukaan tanah, maupun di bawah permukaan tanah. Hidrologi berperan penting dalam memahami hubungan antara air, tanah, dan lingkungan serta pengaruh aktivitas manusia terhadap sistem tata air suatu wilayah. D

alam kajian lingkungan industri, hidrologi digunakan untuk menganalisis proses pergerakan air yang berpotensi membawa zat pencemar dari permukaan tanah menuju lapisan air bawah tanah.

Kajian hidrologi menjadi dasar dalam memahami proses infiltrasi karena infiltrasi merupakan salah satu komponen utama dalam siklus hidrologi yang memengaruhi pengisian kembali cadangan air tanah (*groundwater recharge*) dan pergerakan zat terlarut di dalam tanah.

2.1.2 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses peredaran air yang berlangsung secara terus-menerus dari permukaan bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke permukaan bumi tanpa mengalami perubahan jumlah secara signifikan. Siklus ini menjadi mekanisme alami yang mengatur distribusi dan ketersediaan air di bumi. Melalui siklus hidrologi, air berpindah dari satu tempat ke tempat lain dalam berbagai bentuk, baik sebagai uap air di atmosfer, air permukaan, maupun air yang tersimpan di dalam tanah dan lapisan batuan. Proses tersebut memungkinkan terjadinya keseimbangan antara jumlah air yang menguap, turun sebagai hujan, mengalir di permukaan, dan tersimpan sebagai air tanah (Asdak, 2023).



Sumber: materi.beelajar.com

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi diawali dengan proses *evaporasi*, yaitu penguapan air dari permukaan laut, sungai, danau, waduk, dan permukaan tanah akibat energi panas matahari. Selain evaporasi, terdapat pula proses *transpirasi*, yaitu pelepasan uap air dari jaringan tumbuhan melalui stomata daun. Gabungan antara evaporasi dan transpirasi disebut *evapotranspirasi*. Menurut Asdak (2023), siklus hidrologi terdiri atas proses evaporasi, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, perkolasi, dan aliran permukaan yang berlangsung secara terus-menerus sehingga menjaga keseimbangan distribusi air di bumi.

Uap air yang berada di atmosfer kemudian mengalami proses *kondensasi*, yaitu perubahan bentuk dari gas menjadi butiran air akibat penurunan suhu udara pada lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Butiran-butiran air tersebut akan berkumpul membentuk awan. Seiring bertambahnya ukuran dan berat butiran air, awan akan mencapai titik jenuh sehingga terjadi proses *presipitasi*, yaitu jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, gerimis, salju, maupun hujan es, tergantung pada kondisi iklim dan suhu lingkungan (Wibowo et al., 2021).

Setelah mencapai permukaan bumi, air hujan akan mengalami beberapa jalur pergerakan. Sebagian air akan tertahan oleh vegetasi dan kembali menguap ke atmosfer, sebagian mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (*runoff*) menuju saluran drainase, sungai, danau, atau laut. Limpasan permukaan umumnya terjadi ketika intensitas hujan lebih besar daripada kemampuan tanah

dalam menyerap air atau ketika tanah telah berada dalam kondisi jenuh air (Dermawan et al., 2022).

Sebagian air hujan lainnya akan masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. Infiltrasi merupakan proses pergerakan air dari permukaan tanah menuju pori-pori tanah akibat pengaruh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Air yang berhasil masuk ke dalam tanah selanjutnya akan bergerak lebih dalam melalui proses *perkolasi* menuju lapisan jenuh air dan akhirnya mengisi cadangan air tanah atau akuifer. Besarnya infiltrasi dan perkolasi dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah, penggunaan lahan, vegetasi, dan kondisi hidrologi setempat (Aryanto et al., 2022; Bagaskoro et al., 2021).

Air yang telah tersimpan di dalam akuifer dapat bergerak secara perlahan mengikuti gradien hidrolik dan muncul kembali ke permukaan dalam bentuk mata air, aliran dasar sungai (*baseflow*), maupun sumur-sumur air tanah. Selanjutnya air tersebut akan kembali menuju sungai dan laut, kemudian mengalami evaporasi sehingga siklus hidrologi berlangsung secara berulang dan berkesinambungan. Proses ini menunjukkan bahwa infiltrasi dan perkolasi memiliki peran penting dalam menjaga ketersediaan air tanah serta mempertahankan keseimbangan siklus hidrologi pada suatu wilayah (Jakfar et al., 2020).

2.1.3 Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam lapisan tanah melalui pori-pori tanah akibat pengaruh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Proses ini merupakan salah satu komponen penting dalam siklus hidrologi karena berperan dalam mengurangi limpasan permukaan (*runoff*), mengisi cadangan air tanah (*groundwater recharge*), serta menjaga keseimbangan tata air pada suatu wilayah. Air yang telah masuk ke dalam tanah selanjutnya akan bergerak menuju lapisan yang lebih dalam melalui proses perkolasi hingga mencapai zona jenuh air atau akuifer. Oleh karena itu, infiltrasi menjadi faktor utama yang menentukan jumlah air yang dapat tersimpan sebagai air tanah dan ketersediaan sumber daya air pada suatu wilayah. (Setiawan et al., 2022; Aryanto et al., 2022)

Besarnya air yang dapat masuk ke dalam tanah dinyatakan sebagai laju infiltrasi. Laju infiltrasi menggambarkan kecepatan pergerakan air dari permukaan tanah ke dalam tanah dalam satuan waktu tertentu. Nilai laju infiltrasi berbeda pada setiap jenis tanah tergantung pada kondisi fisik dan lingkungan setempat.

Infiltrasi memiliki hubungan yang erat dengan kualitas air bawah tanah. Air yang meresap ke dalam tanah tidak hanya membawa unsur-unsur alami tetapi juga dapat membawa zat pencemar yang berasal dari aktivitas manusia. Pada kawasan industri, limbah cair atau bahan pencemar yang berada di permukaan tanah berpotensi ikut terbawa bersama air infiltrasi menuju lapisan bawah tanah. Apabila laju infiltrasi tinggi dan kondisi geologi mendukung, maka zat pencemar dapat mencapai akuifer dan menyebabkan penurunan kualitas air tanah. Oleh karena itu, analisis laju infiltrasi menjadi salah satu langkah penting dalam mengidentifikasi potensi pencemaran air bawah tanah pada suatu kawasan industri. (Setiawan et al., 2022; Bachtiar et al., 2022)..

Klasifikasi laju infiltrasi digunakan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menyerap air berdasarkan nilai infiltrasi yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Pengelompokan ini penting untuk mengevaluasi kondisi hidrologi suatu wilayah serta mengetahui potensi pengisian air tanah maupun potensi terjadinya limpasan permukaan. Semakin tinggi nilai infiltrasi, semakin besar kemampuan tanah dalam menyerap air dan meneruskannya ke lapisan bawah tanah. (Juwita, 2020).

Tabel 2.1 Klasifikasi Laju Infiltrasi

Kelas Infiltrasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
Sangat Cepat	> 254
Cepat	127 – 254
Agak Cepat	63 – 127
Sedang	20 – 63
Agak Lambat	5 – 20
Lambat	1 – 5
Sangat Lambat	< 1

Sumber: U.S. Soil Conservation Service (SCS) dalam Juwita (2020).

2.1.4 Kapasitas Infiltrasi

Kapasitas infiltrasi (*infiltration capacity*) adalah kemampuan maksimum tanah untuk menyerap air dari permukaan tanah ke dalam profil tanah pada suatu waktu tertentu. Kapasitas infiltrasi menunjukkan batas maksimum jumlah air yang dapat masuk ke dalam tanah. Apabila intensitas hujan lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka seluruh air hujan dapat meresap ke dalam tanah. Sebaliknya, apabila intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi, maka kelebihan air akan mengalir di permukaan sebagai limpasan (*runoff*). Oleh karena itu, kapasitas infiltrasi merupakan salah satu parameter penting dalam analisis hidrologi, konservasi tanah, dan pengelolaan sumber daya air. (Aryanto et al. (2022).

Kapasitas infiltrasi memiliki nilai yang tinggi pada awal terjadinya hujan atau penggenangan karena kondisi pori-pori tanah masih relatif kosong. Seiring bertambahnya waktu dan meningkatnya kandungan air dalam tanah, kemampuan tanah untuk menyerap air akan menurun hingga mencapai kondisi konstan yang disebut kapasitas infiltrasi akhir. Penurunan ini terjadi karena sebagian besar pori tanah telah terisi air sehingga ruang yang tersedia untuk masuknya air menjadi semakin sedikit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas infiltrasi bersifat dinamis dan berubah terhadap waktu. (Aryanto et al. (2022).

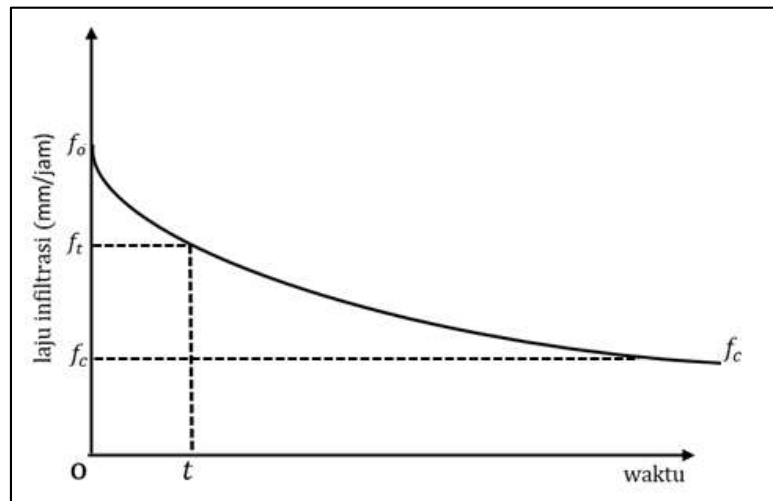
Kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh berbagai karakteristik fisik tanah, seperti tekstur tanah, struktur tanah, porositas, permeabilitas, kadar air awal tanah, dan kandungan bahan organik. Tanah bertekstur pasir umumnya memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan tanah bertekstur lempung karena memiliki ukuran pori yang lebih besar. Selain itu, tanah yang memiliki porositas dan permeabilitas tinggi akan lebih mudah meloloskan air ke lapisan yang lebih dalam sehingga kapasitas infiltrasinya juga lebih besar. (Aryanto et al. (2022).

Pada kawasan industri, kapasitas infiltrasi juga dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan dan aktivitas operasional. Aktivitas kendaraan berat, pembangunan infrastruktur, serta pemadatan tanah dapat mengurangi jumlah pori tanah sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi. Penurunan kapasitas infiltrasi dapat meningkatkan limpasan permukaan dan mengurangi pengisian air tanah.

Sebaliknya, pada area dengan kapasitas infiltrasi yang tinggi, air dan zat-zat terlarut dapat bergerak lebih cepat menuju lapisan bawah tanah. Kondisi ini menjadi perhatian penting dalam penelitian lingkungan karena dapat memengaruhi potensi perpindahan zat pencemar menuju akuifer air tanah. (Aryanto et al. (2022)).

Kapasitas infiltrasi sering dianalisis menggunakan model empiris seperti model Horton. Horton menjelaskan bahwa kapasitas infiltrasi akan menurun secara eksponensial dari kondisi awal hingga mencapai nilai konstan. Model ini banyak digunakan karena mampu menggambarkan kondisi infiltrasi aktual di lapangan dan memberikan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, model Horton sering digunakan dalam penelitian hidrologi, konservasi tanah, maupun analisis potensi pencemaran air bawah tanah pada kawasan industri. . (Aryanto et al. (2022)).

Gambar 2.2 Kurva Kapasitas Infiltrasi



Sumber: Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air Vol. 2 No. 1 (2022)

2.1.5 Metode Horton

Metode Horton dipilih karena mampu menggambarkan perubahan laju infiltrasi tanah secara dinamis dari kondisi awal hingga mencapai laju infiltrasi konstan. Pada awal pengujian, tanah memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi, kemudian kemampuan tersebut menurun secara bertahap seiring

berkurangnya pori-pori tanah yang masih kosong hingga akhirnya mencapai kondisi stabil (*steady state*).

Konstanta Horton (k) merupakan parameter yang menunjukkan laju penurunan kapasitas infiltrasi tanah dari kondisi awal hingga mencapai kondisi konstan. Nilai konstanta ini menggambarkan seberapa cepat kemampuan tanah dalam menyerap air berkurang selama proses infiltrasi berlangsung. Semakin besar nilai (k), semakin cepat laju infiltrasi menurun menuju kondisi konstan. Sebaliknya, nilai (k) yang kecil menunjukkan bahwa penurunan laju infiltrasi berlangsung lebih lambat. Persamaan Horton dinyatakan sebagai berikut:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \dots\dots\dots(2.1)$$

f_t : kapasitas infiltrasi pada saat ke t (cm/jam atau mm/jam)

f_0 : kapasitas infiltrasi awal (cm/jam atau mm/jam)

f_c : kapasitas infiltrasi konstan (cm/jam atau mm/jam)

e : eksponensial, bilangan Euler ($\approx 2,71828$)

k : Konstanta penurunan infiltrasi (decay constant) (jam^{-1} atau menit^{-1})

t : Waktu pengamatan (jam atau menit)

Metode Horton digunakan karena memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi infiltrasi aktual di lapangan dibandingkan beberapa model infiltrasi lainnya. Selain itu, parameter-parameter yang diperlukan dalam model Horton dapat diperoleh langsung dari hasil pengukuran infiltrasi menggunakan alat infiltrometer sehingga lebih praktis. (Setiawan et al., 2022)

2.1.6 Pengukuran Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi di lapangan umumnya dilakukan menggunakan (*Double Ring Infiltrometer*) karena metode ini mampu memberikan hasil yang lebih akurat dalam menggambarkan kemampuan tanah menyerap air. Alat ini terdiri dari dua cincin konsentris yang ditanam sebagian ke dalam tanah, yaitu cincin bagian dalam dan cincin bagian luar. Kedua cincin kemudian diisi air dengan tinggi muka air tertentu. Cincin luar berfungsi untuk meminimalkan aliran lateral sehingga pergerakan air pada cincin bagian dalam lebih dominan ke arah

vertikal. Penurunan muka air pada cincin bagian dalam diamati dan dicatat pada interval waktu tertentu hingga laju infiltrasi mencapai kondisi konstan. Data hasil pengamatan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi tanah. (Muntohar et al., 2025; Siregar & Ali, 2022).

Pengukuran Laju infiltrasi di lapangan ditetapkan dengan menghitung penurunan muka air menggunakan persamaan (2)

Hasil pengukuran di lapangan, laju infiltrasi dapat dihitung dengan rumus :

$$f = \frac{\Delta H}{t} \times 60$$

(cm/jam).....(2.2)

Keterangan :

f : Laju infiltrasi (cm/jam)

ΔH : Tinggi penurunan air dalam selang waktu tertentu (cm)

t : waktu yang dibutuhkan oleh air pada ΔH untuk masuk ke tanah (jam)

Prinsip kerja (*Double Ring Infiltrometer*) didasarkan pada pengukuran volume atau tinggi muka air yang meresap ke dalam tanah selama periode waktu tertentu. Semakin besar penurunan muka air yang terjadi, maka semakin tinggi kemampuan infiltrasi tanah. Pengamatan biasanya dilakukan hingga diperoleh laju infiltrasi yang relatif stabil atau konstan. Hasil pengukuran tersebut dapat digunakan untuk menentukan parameter infiltrasi pada berbagai model infiltrasi, seperti model Horton, Kostiakov, maupun Philip. (Muntohar et al., 2025).

Metode (*Double Ring Infiltrometer*) banyak digunakan dalam penelitian hidrologi, konservasi tanah, evaluasi daerah resapan air, dan analisis potensi pencemaran air tanah. Penggunaan dua cincin konsentris mampu mengurangi pengaruh aliran samping (*lateral flow*) sehingga hasil pengukuran lebih merepresentasikan infiltrasi vertikal yang terjadi di lapangan. Oleh karena itu, metode ini dianggap sebagai salah satu metode standar dalam pengukuran infiltrasi tanah secara langsung di lapangan. (Jobbágy et al., 2023; Saltiel et al., 2022).

2.1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi

Laju infiltrasi merupakan kemampuan tanah dalam menyerap air dari permukaan menuju lapisan tanah yang lebih dalam. Besarnya laju infiltrasi pada suatu wilayah tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik tanah, kondisi lingkungan, serta aktivitas manusia. Perbedaan faktor-faktor tersebut menyebabkan kemampuan tanah dalam menyerap air menjadi berbeda pada setiap lokasi penelitian.

1) Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan fraksi pasir, debu, dan liat yang terkandung dalam tanah. Tekstur tanah sangat memengaruhi ukuran dan distribusi pori-pori tanah yang menjadi jalur masuknya air. Tanah bertekstur kasar seperti pasir umumnya memiliki pori-pori yang lebih besar sehingga air lebih cepat meresap ke dalam tanah. Sebaliknya, tanah bertekstur halus seperti lempung memiliki pori-pori yang lebih kecil sehingga laju infiltrasinya cenderung lebih rendah. Oleh karena itu, tekstur tanah menjadi salah satu faktor utama yang menentukan besarnya laju infiltrasi. (Bagaskoro et al., 2021).

Tabel 2.2.Klasifikasi Kelas Tekstur Tanah

Kelas Tekstur USDA	Pasir (%)	Debu/Silt (%)	Liat/Clay (%)
Sand	85–100	0–15	0–10
Loamy Sand	70–90	0–30	0–15
Sandy Loam	43–85	0–50	0–20
Loam	23–52	28–50	7–27
Silt Loam	0–50	50–88	0–27
Silt	0–20	80–100	0–12
Sandy Clay Loam	45–80	0–28	20–35
Clay Loam	20–45	15–53	27–40
Silty Clay Loam	0–20	40–73	27–40
Sandy Clay	45–65	0–20	35–55
Silty Clay	0–20	40–60	40–60
Clay	0–45	0–40	40–100

(Sumber : USDA)

2) Kepadatan tanah (*soil bulk density*)

Kepadatan tanah (*soil bulk density*) merupakan salah satu sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam menyerap air. Tanah dengan tingkat kepadatan yang tinggi umumnya memiliki pori-pori yang lebih sedikit sehingga menghambat pergerakan air ke dalam tanah dan menyebabkan laju infiltrasi menjadi lebih rendah. Sebaliknya, tanah dengan kepadatan yang rendah memiliki ruang pori yang lebih besar sehingga air lebih mudah meresap ke dalam lapisan tanah. Kondisi kepadatan tanah dapat dipengaruhi oleh aktivitas pemadatan akibat lalu lintas alat berat, benturan butir hujan, maupun penggunaan lahan yang intensif. (Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual, 2022; Aryanto et al., 2022).

Tabel 2.3 Klasifikasi Kepadatan Tanah

Bulk Density (g/cm³)	Tingkat Kepadatan	Pengaruh terhadap Infiltrasi
< 1,20	Sangat rendah	Infiltrasi sangat tinggi
1,20–1,40	Rendah	Infiltrasi tinggi
1,40–1,60	Sedang	Infiltrasi sedang
1,60–1,80	Tinggi	Infiltrasi rendah
> 1,80	Sangat tinggi (sangat padat)	Infiltrasi sangat rendah

(Sumber : USDA)

3) Kadar Air Tanah

Kadar air awal tanah menunjukkan jumlah air yang telah terkandung di dalam tanah sebelum terjadi hujan atau penggenangan. Tanah yang masih kering memiliki kemampuan infiltrasi lebih tinggi karena sebagian besar pori tanah masih kosong dan dapat diisi oleh air. (Bagaskoro et al., 2021).

Tabel 2.4 Klasifikasi Kadar Air Tanah

Kadar Air Tanah (%)	Klasifikasi	Kondisi Tanah
< 10	Sangat rendah	Sangat kering
10–20	Rendah	Kering
20–30	Sedang	Lembap
30–40	Tinggi	Lembap mendekati jenuh
> 40	Sangat tinggi	Jenuh

(Sumber: Brady & Weil (2017)).

4) Porositas Tanah

Porositas merupakan persentase ruang kosong atau pori yang terdapat dalam tanah. Semakin tinggi nilai porositas suatu tanah, semakin besar kemampuan tanah untuk menyimpan dan mengalirkan air. Tanah dengan porositas tinggi memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih besar dibandingkan tanah dengan porositas rendah. Hubungan antara porositas dan infiltrasi menunjukkan bahwa peningkatan porositas tanah akan meningkatkan laju infiltrasi secara signifikan. (Bagaskoro et al., 2021).

Tabel 2.5 Klasifikasi Porositas Tanah

Porositas (%)	Klasifikasi	Karakteristik
< 30	Rendah	Ruang pori sedikit, infiltrasi rendah
30–40	Sedang	Infiltrasi sedang
40–50	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
> 50	Sangat tinggi	Infiltrasi sangat baik, daya simpan air tinggi

(Sumber: Brady & Weil (2017)).

$$n = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \times 100\% \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan:

n = Porositas tanah (%)

ρ_b = Bulk density (g/cm³)

ρ_s = Particle density (g/cm³), diasumsikan 2,65 g/cm³ untuk tanah mineral.

Hasil perhitungan porositas kemudian dibandingkan dengan klasifikasi pada Tabel 2.5 untuk mengetahui kondisi ruang pori tanah pada setiap titik pengamatan. Selanjutnya, nilai porositas dianalisis hubungannya dengan hasil pengukuran laju infiltrasi menggunakan model Horton

2.1.8 Potensi Pencemaran berdasarkan dengan laju Infiltrasi

Pencemaran air bawah tanah merupakan kondisi menurunnya kualitas air tanah akibat masuknya zat, energi, atau komponen lain ke dalam lapisan akuifer sehingga menyebabkan air tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya. Air bawah tanah memiliki peranan penting sebagai sumber air bersih bagi masyarakat, industri, dan kegiatan lainnya. Namun, keberadaannya sangat rentan terhadap pencemaran karena air tanah berhubungan langsung dengan proses infiltrasi dan

perkolasi yang terjadi dari permukaan tanah menuju lapisan bawah tanah. (Abdel-Shafy et al., 2024; Wang & Qiao, 2024).

Klasifikasi potensi pencemaran berdasarkan laju infiltrasi ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 2.6 *Kriteria Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah Berdasarkan Nilai Infiltrasi*

Kelas Infiltrasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)	Potensi Pergerakan Lindi
Sangat Lambat	< 1	Sangat Rendah
Lambat	1 – 5	Rendah
Agak Lambat	5 – 20	Sedang
Sedang	20 – 63	Sedang
Agak Cepat	63 – 127	Tinggi
Cepat	127 – 254	Tinggi
Sangat Cepat	> 254	Sangat Tinggi

Sumber: Modifikasi dari U.S. Soil Conservation Service (SCS)

Klasifikasi laju infiltrasi umumnya didasarkan pada besarnya nilai infiltrasi yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan kelas infiltrasi untuk menentukan tingkat kemampuan tanah meloloskan air. Menurut klasifikasi yang banyak digunakan dalam kajian hidrologi dan konservasi tanah, laju infiltrasi dibedakan menjadi tujuh kelas, yaitu sangat lambat, lambat, agak lambat, sedang, agak cepat, cepat, dan sangat cepat.

2.1.9 Parameter Kualitas Air sebagai Indikator Potensi Pencemaran

Nilai parameter kualitas air yang melebihi baku mutu menunjukkan adanya indikasi pencemaran dan dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerentanan air bawah tanah terhadap aktivitas landfill. Parameter kualitas air merupakan indikator utama dalam menilai keberadaan zat pencemar yang berasal

dari lindi (leachate) hasil dekomposisi limbah dan infiltrasi air hujan pada area landfill (Wang & Qiao, 2024; Abdel-Shafy et al., 2024).

1. pH Air

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air. Nilai pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengindikasikan adanya perubahan kualitas air serta memengaruhi kelarutan unsur-unsur kimia di dalam air. Berdasarkan standar kualitas air yang berlaku di Indonesia, nilai pH yang memenuhi syarat berada pada kisaran 6,5–8,5. Nilai di luar rentang tersebut menunjukkan adanya gangguan kualitas lingkungan yang berpotensi berasal dari aktivitas pencemar (PP No. 22 Tahun 2021; Permenkes No. 2 Tahun 2023).

2. Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan tingginya kandungan bahan organik yang dapat berasal dari lindi landfill. Semakin tinggi nilai BOD, semakin besar tingkat pencemaran organik yang terjadi. Berdasarkan standar kualitas air yang berlaku di Indonesia, nilai pH yang memenuhi syarat berada pada kisaran 6,5–8,5. Nilai di luar rentang tersebut menunjukkan adanya gangguan kualitas lingkungan yang berpotensi berasal dari aktivitas pencemar (PP No. 22 Tahun 2021; Permenkes No. 2 Tahun 2023).

3. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik secara kimiawi. Parameter ini digunakan untuk mengetahui total beban pencemar yang terdapat dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan tingginya kandungan bahan pencemar dan sering digunakan sebagai indikator utama kualitas lindi. Penelitian Sonia et al. (2025) menunjukkan bahwa tingginya COD pada lindi landfill mengindikasikan potensi pencemaran lingkungan yang

signifikan apabila tidak dikelola dengan baik (Sonia et al., 2025; Wang & Qiao, 2024).

4. Total Dissolved Solids (TDS)

TDS merupakan jumlah total zat terlarut yang terdapat dalam air, baik berupa mineral, garam, maupun senyawa organik. Tingginya nilai TDS menunjukkan besarnya konsentrasi zat terlarut yang berasal dari proses pelindian limbah. Pada area landfill, TDS sering digunakan sebagai indikator adanya pengaruh lindi terhadap kualitas air tanah dan air permukaan (Abdel-Shafy et al., 2024; Wang & Qiao, 2024).

Tabel 2.7 Parameter Kualitas Air Tanah

Parameter	Baku Mutu Air Tanah
pH	6,5 – 8,5
TDS	≤ 500 mg/L
BOD	≤ 2 mg/L*
COD	≤ 10 mg/L*
Amonia (NH ₃ -N)	$\leq 1,5$ mg/L
Besi (Fe)	$\leq 0,3$ mg/L
Mangan (Mn)	$\leq 0,1$ mg/L
Timbal (Pb)	$\leq 0,01$ mg/L
Kadmium (Cd)	$\leq 0,003$ mg/L
Kromium Total (Cr)	$\leq 0,05$ mg/L

(Sumber : Leachet Treatment Plant)

Parameter pH, TDS, BOD, COD, amonia, dan logam berat merupakan indikator yang umum digunakan untuk menilai kualitas air tanah pada area *landfill*. Nilai parameter yang melebihi baku mutu menunjukkan adanya indikasi pencemaran akibat masuknya zat pencemar ke dalam sistem air tanah. Pada area landfill, sumber pencemar utama umumnya berasal dari lindi (*leachate*) yang terbentuk akibat infiltrasi air hujan ke dalam timbunan limbah. Lindi tersebut dapat mengandung bahan organik, senyawa nitrogen, padatan terlarut, serta logam berat yang berpotensi menurunkan kualitas air tanah apabila bermigrasi menuju akuifer. Oleh karena itu, parameter kualitas air digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi tingkat pencemaran dan kerentanan lingkungan di sekitar area *landfill*. (Wang & Qiao, 2024; Abdel-Shafy et al., 2024)

2.1.10 *Landfill* Industri *Pulp* dan Potensi Pembentukan Lindi

Landfill merupakan metode pengelolaan limbah yang dilakukan dengan menempatkan limbah pada area tertentu yang dirancang dan dioperasikan secara terkendali untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Pada industri pulp, landfill umumnya digunakan sebagai lokasi penimbunan limbah padat hasil proses produksi, seperti sludge dari instalasi pengolahan air limbah (*IPAL*), *fly ash*, *bottom ash*, *grit*, dan residu lainnya yang tidak dapat dimanfaatkan kembali dalam proses produksi. (Cahyaningtyas et al., 2025).

Keberadaan *landfill* menjadi bagian penting dalam sistem pengelolaan lingkungan industri karena berfungsi sebagai tempat pembuangan akhir limbah padat. Namun, apabila sistem *landfill* tidak dirancang dan dioperasikan secara optimal, maka dapat menimbulkan berbagai dampak lingkungan, terutama terhadap kualitas tanah dan air bawah tanah. Oleh sebab itu, *landfill* modern umumnya dilengkapi dengan lapisan kedap (*liner*), sistem drainase, serta fasilitas pengumpulan dan pengolahan lindi guna mengurangi risiko pencemaran lingkungan. (Wang & Qiao, 2024; Abdel-Shafy et al., 2024).

Lindi (*leachate*) adalah cairan yang terbentuk ketika air hujan, air permukaan, atau kelembapan melewati tumpukan sampah, kemudian melarutkan dan membawa berbagai zat terlarut maupun tersuspensi seperti bahan organik, logam berat, amonia, garam, dan mikroorganisme.

Lindi (*leachate*) terbentuk akibat infiltrasi air hujan atau sumber air lainnya ke dalam timbunan sampah. Selama proses infiltrasi, air melarutkan berbagai senyawa organik dan anorganik yang berasal dari dekomposisi limbah sehingga menghasilkan cairan dengan konsentrasi pencemar yang tinggi. Lindi kemudian bergerak ke arah bawah akibat gaya gravitasi. Pada landfill yang dilengkapi sistem pelapis kedap dan saluran pengumpul lindi, cairan tersebut akan ditampung dan diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Namun, apabila sistem tersebut tidak berfungsi secara optimal, lindi dapat meresap ke dalam tanah dan berpotensi mencemari air tanah maupun air permukaan. Oleh karena itu, laju infiltrasi merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi potensi migrasi lindi pada suatu lokasi landfill.

Lindi berpotensi mengandung berbagai parameter pencemar seperti bahan organik terlarut, *Total Dissolved Solids (TDS)*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, amonia, serta beberapa unsur logam yang berasal dari residu proses produksi. Konsentrasi parameter tersebut dapat meningkat seiring bertambahnya volume air yang masuk ke dalam *landfill* akibat infiltrasi dan perkolasi air hujan. (Abdel-Shafy et al., 2024; Wang & Qiao, 2024).

Berdasarkan Permen LHK No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, Klasifikasi tingkat pencemaran terhadap hasil uji lindi dengan menggunakan Indeks Potensi Pencemaran (P)

$$P = \frac{Ch}{Cb} \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan:

- P = Indeks Potensi Pencemaran
- Ch = Konsentrasi hasil pengujian parameter lindi
- Cb = Baku mutu parameter kualitas air

Baku Mutu Lindi (Permen LHK No. P.59 Tahun 2016)

Tabel 2.8 Baku Mutu Lindi

Parameter	Baku Mutu	Satuan
pH	6–9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri (Hg)	0,005	mg/L
Kadmium (Cd)	0,1	mg/L

(Sumber : Permen LHK No. P.59 Tahun 2016)

Analisis kualitas air lindi dilakukan untuk mengetahui apakah karakteristik air lindi di area landfill PT Phoenix Resources International telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Hasil pengujian

laboratorium dibandingkan secara langsung dengan nilai baku mutu untuk setiap parameter.

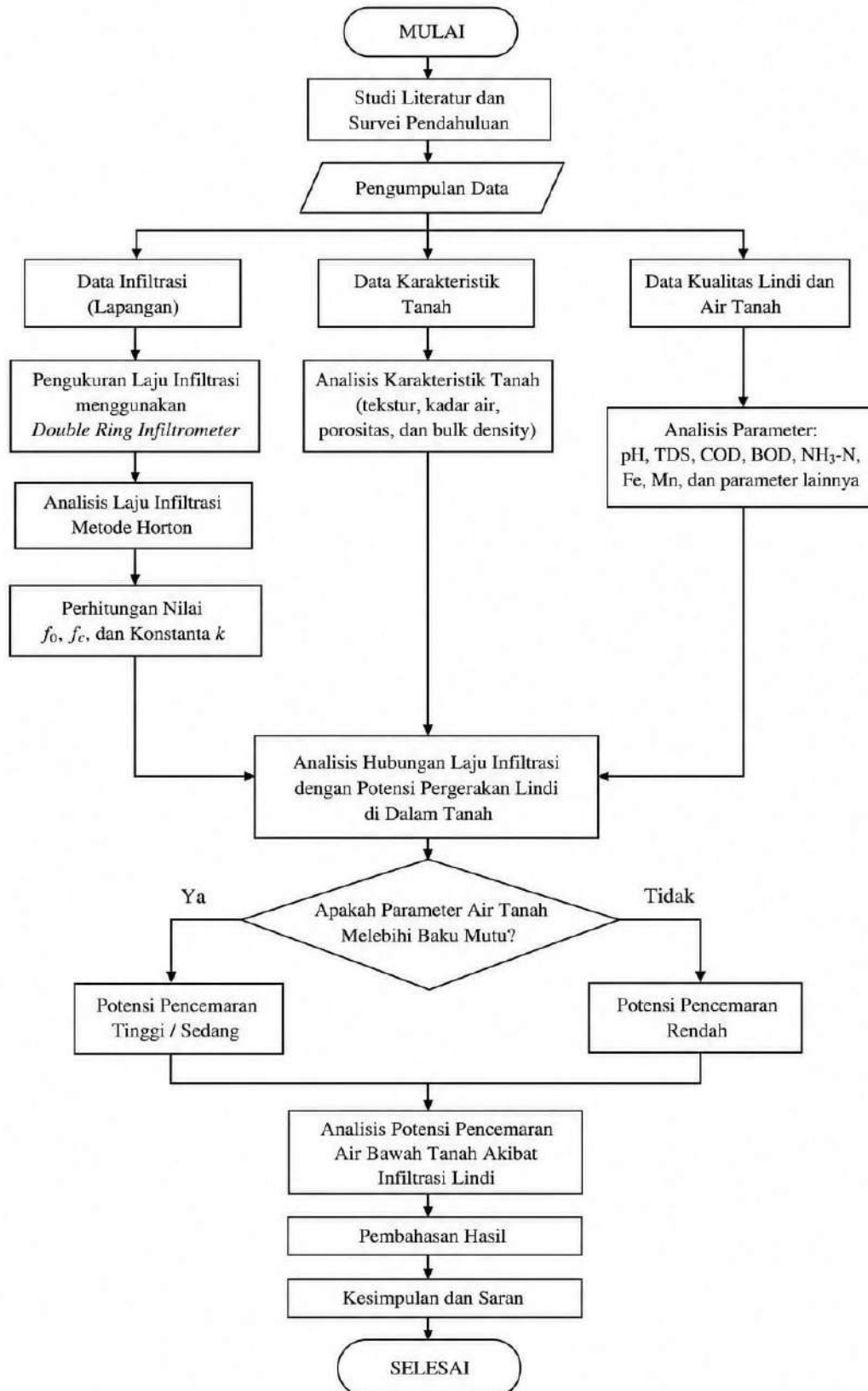
Parameter yang dianalisis meliputi pH, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), Nitrogen Total (N Total), Merkuri (Hg), dan Kadmium (Cd). Pemilihan parameter tersebut didasarkan pada karakteristik utama air lindi yang berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap tanah dan air tanah apabila konsentrasinya melebihi baku mutu yang ditetapkan.

Infiltrasi memiliki peranan penting dalam proses pembentukan dan transportasi lindi. Air hujan yang jatuh di atas permukaan landfill akan meresap ke dalam timbunan limbah melalui pori-pori material dan selanjutnya melarutkan berbagai senyawa pencemar yang terkandung di dalamnya. Semakin besar volume air yang mengalami infiltrasi, maka semakin besar pula potensi terbentuknya lindi. Aryanto et al. (2022) menyatakan bahwa kemampuan tanah dalam meloloskan air dipengaruhi oleh kondisi fisik tanah dan penggunaan lahan, sehingga variasi infiltrasi dapat memengaruhi jumlah air yang berpotensi membentuk lindi pada suatu area.

Pergerakan lindi dari landfill menuju lingkungan sekitar dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekstur tanah, permeabilitas, porositas, kondisi hidrogeologi, serta keberadaan sistem pelapis landfill. Wang dan Qiao (2024) menjelaskan bahwa sistem liner dan pengumpulan lindi merupakan komponen penting yang berfungsi untuk mencegah migrasi pencemar menuju tanah dan air bawah tanah. Apabila sistem tersebut mengalami kerusakan atau tidak berfungsi dengan baik, maka risiko pencemaran lingkungan dapat meningkat.

Dalam penelitian ini, analisis laju infiltrasi pada area landfill PT. Phoenix Resources International digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan tanah dalam meloloskan air menuju lapisan bawah permukaan. Hasil analisis infiltrasi selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi potensi terbentuknya lindi dan kemungkinan perpindahan zat pencemar menuju air bawah tanah.

2.2 Diagram Alir Pemikiran



2.3 Hipotesis

H₁ : Laju infiltrasi tanah pada area *landfill* PT Phoenix Resources International berpengaruh terhadap potensi pencemaran air bawah tanah melalui pergerakan lindi yang mengandung parameter pencemar seperti pH air, *TDS*, *COD*, *BOD*, dan memenuhi baku mutu potensi pencemaran menurut Berdasarkan Permen LHK No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

H₀ : Laju infiltrasi tanah pada area *landfill* PT Phoenix Resources International tidak berpengaruh terhadap potensi pencemaran air bawah tanah.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak terlepas dari hasil penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Adapun hasil-hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak terlepas dari topik penelitian yaitu mengenai “Analisis Laju Infiltrasi Tanah Di Area Landfill Pabrik Pulp PT. Phoenix Resources International (PRI) Kota Tarakan”.

Penelitian yang dilakukan Abdel-Shafy et al. (2024) melakukan kajian mengenai karakteristik dan dampak lingkungan air lindi pada landfill. Hasil penelitian menunjukkan bahwa infiltrasi air hujan ke dalam timbunan limbah merupakan faktor utama pembentukan air lindi yang mengandung bahan organik terlarut, amonia, logam berat, dan senyawa organik berbahaya. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin besar infiltrasi yang terjadi pada area landfill maka semakin tinggi potensi pergerakan zat pencemar menuju air bawah tanah. Oleh karena itu, pengelolaan infiltrasi dan sistem pengolahan air lindi menjadi aspek penting dalam mencegah pencemaran lingkungan.

Penelitian yang dilakukan Cahyaningtyas et al. (2025) dalam penelitian berjudul "*Penerapan Prinsip Pencegahan (Prevention Principle) dalam Pengelolaan Limbah Cair oleh PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP)*" menggunakan metode yuridis normatif dengan pendekatan studi pustaka untuk menganalisis penerapan prinsip pencegahan dalam pengelolaan limbah cair industri pulp dan kertas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PT RAPP telah menerapkan berbagai strategi pencegahan pencemaran lingkungan melalui

pemantauan kualitas air secara real-time, penggunaan bioindikator berupa keramba ikan, penerapan teknologi produksi bersih (clean production), serta sistem pengelolaan limbah yang mengacu pada prinsip 5R (rethink, reduce, reuse, recycle, repair). Implementasi strategi tersebut terbukti mampu menurunkan konsentrasi parameter pencemar seperti Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solids (TSS) pada limbah cair sehingga kualitas lingkungan perairan di sekitar area pembuangan limbah tetap terjaga. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan pencegahan yang didukung oleh inovasi teknologi dan pengawasan berkelanjutan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah industri sekaligus mengurangi risiko pencemaran lingkungan.

Penelitian yang dilakukan Bagaskoro, Wahyuni, dan Andawayanti (2021) melakukan penelitian berjudul *"Analisis Laju Infiltrasi dengan Metode Penggenangan (Flooding) dan Karakteristik Tanah di Kabupaten Sampang, Madura"*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju infiltrasi menggunakan Model Horton, Model Holtan, dan Model Philip serta mengkaji karakteristik tanah dan potensi genangan yang terjadi. Pengukuran laju infiltrasi dilakukan pada 10 titik pengamatan menggunakan Turf-Tech Infiltrometer, sedangkan karakteristik tanah dianalisis melalui parameter kadar air (water content), berat jenis tanah (specific gravity), distribusi ukuran butir (grain size), dan hidrometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah di lokasi penelitian didominasi oleh tanah lempung berdebu, lempung liat berdebu, dan lempung. Nilai laju infiltrasi konstan (fc) berkisar antara 0,1 mm/menit hingga 10,3 mm/menit. Berdasarkan perbandingan hasil model dengan kondisi lapangan, Model Horton dinilai sebagai model yang paling sesuai untuk menggambarkan laju infiltrasi, karena memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi aktual dan lebih sederhana dalam penerapannya. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa 7 dari 10 lokasi penelitian mengalami genangan akibat rendahnya kemampuan infiltrasi tanah dan karakteristik fisik tanah yang kurang mendukung proses peresapan air.

Penelitian yang dilakukan Wang dan Qiao (2024) melakukan penelitian berjudul *"A Comprehensive Review of Landfill Leachate Treatment Technologies"* yang bertujuan untuk mengkaji karakteristik air lindi, dampak

lingkungan yang ditimbulkan, serta berbagai teknologi pengolahan lindi yang digunakan untuk mengurangi risiko pencemaran lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode literature review dengan menganalisis berbagai hasil penelitian terkait karakteristik lindi, faktor pembentuk lindi, teknologi pengolahan konvensional dan modern, serta regulasi pengelolaan lindi di berbagai negara.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada area *landfill* PT Phoenix Resources International yang berlokasi di Kelurahan Juata Permai, Kecamatan Tarakan Utara, Kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Utara.

Pelaksanaan penelitian meliputi kegiatan survei lapangan, pengukuran laju infiltrasi, pengamatan kondisi fisik tanah, pengolahan data, analisis data, dan penyusunan laporan penelitian. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei dan Juni tahun 2026.

3.2 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian didasarkan pada pengukuran dan analisis data numerik yang diperoleh dari pengujian lapangan. Metode deskriptif bertujuan untuk menggambarkan kondisi laju infiltrasi tanah, menganalisis potensi pergerakan lindi, serta mengevaluasi potensi pencemaran terhadap tanah dan air tanah di area landfill.

Data penelitian diperoleh melalui pengujian menggunakan double ring infiltrometer dan dianalisis dengan metode Horton untuk menentukan karakteristik infiltrasi tanah. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan berdasarkan klasifikasi laju infiltrasi, potensi pergerakan lindi, dan potensi pencemaran pada lokasi penelitian.

3.3 Penentuan Titik Sampel

Penelitian ini menggunakan lima titik sampel yang ditentukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu berdasarkan karakteristik area landfill agar mewakili kondisi lokasi penelitian. Setiap titik dilakukan pengujian menggunakan *double ring infiltrometer* serta analisis sifat fisik tanah, meliputi tekstur tanah, kadar air, bulk density, dan porositas. Data dari kelima titik kemudian dianalisis

untuk menggambarkan karakteristik infiltrasi tanah serta mengevaluasi potensi pergerakan lindi dan potensi pencemaran pada area penelitian secara representatif.

3.4 Prosedur Pengukuran Infiltrasi di Lapangan

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan menggunakan *double ring infiltrometer* pada setiap titik pengamatan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan lima titik pengamatan sesuai lokasi yang telah ditetapkan.
2. Membersihkan permukaan tanah dari rumput, batu, dan material lain yang dapat mengganggu pengujian.
3. Memasang *double ring infiltrometer* secara tegak lurus pada permukaan tanah hingga tertanam sekitar 10-15 cm menggunakan palu karet agar tidak merusak struktur tanah.
4. Mengisi cincin bagian dalam dan luar dengan air hingga mencapai tinggi muka air yang sama sebagai tinggi awal pengujian.
5. Mempertahankan tinggi muka air pada kedua cincin agar tetap konstan selama pengujian.
6. Mengukur penurunan tinggi muka air pada cincin bagian dalam menggunakan mistar pada interval waktu tertentu (misalnya setiap 5 menit) hingga laju infiltrasi menunjukkan kondisi relatif konstan.
7. Mencatat seluruh hasil pengamatan yang meliputi waktu pengukuran dan penurunan muka air pada setiap interval.
8. Mengulangi prosedur yang sama pada seluruh titik pengamatan.

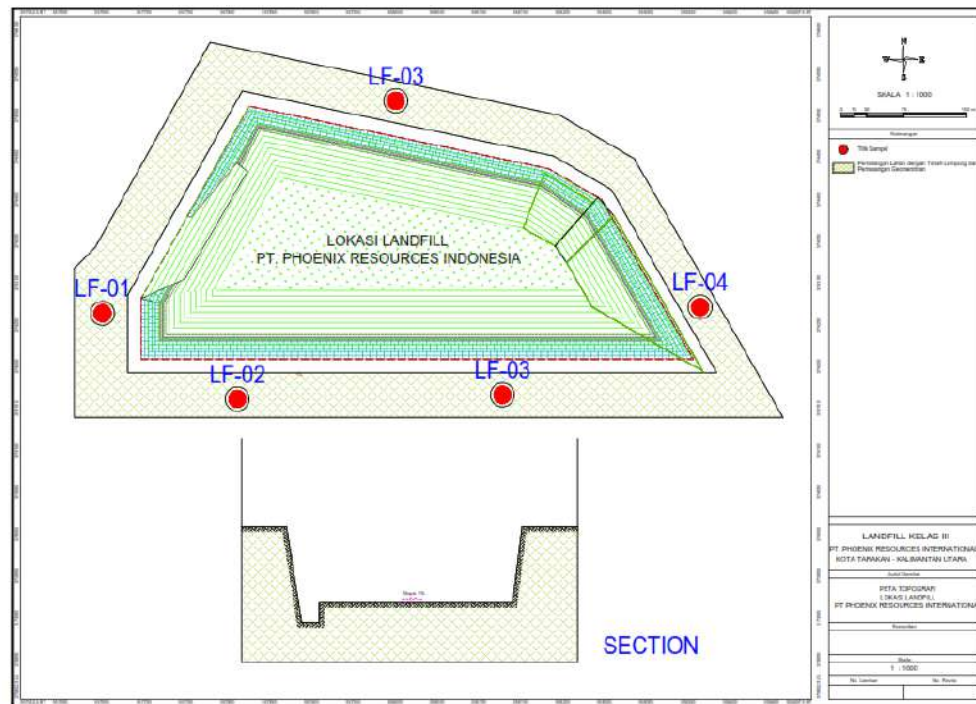
3.5 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat Komputer, Software Autocad, Maps, *double ring infiltrometer*, penggaris, Palu Karet, stopwatch, ember, cangkul, alat tulis, air, dan meteran.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

3.6.1 Penentuan Titik Sampel

Penentuan titik sampel dilakukan di area *landfill* PT Phoenix Resources International yang memiliki luas 23.654,016 m². Penentuan kordinat dan interval masing-masing titik sampel dilakukan dengan program software Autocad dan Maps, jumlah titik sampel yang akan digunakan pada penelitian ini sebanyak 5 titik



Sumber: Auto Cad

Gambar 3.1 Layout Landfill

3.6.2 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui pengukuran dan pengamatan di lokasi penelitian. Data primer yang digunakan meliputi:

1. Data laju infiltrasi tanah hasil dengan alat *double ring infiltrometer*.
2. Data tekstur tanah.
3. Data kadar air tanah.
4. Data *bulk density* (berat isi tanah).
5. Data porositas tanah.

6. Data Potensi baku mutu potensi pencemaran.
7. Dokumentasi kondisi lokasi penelitian.

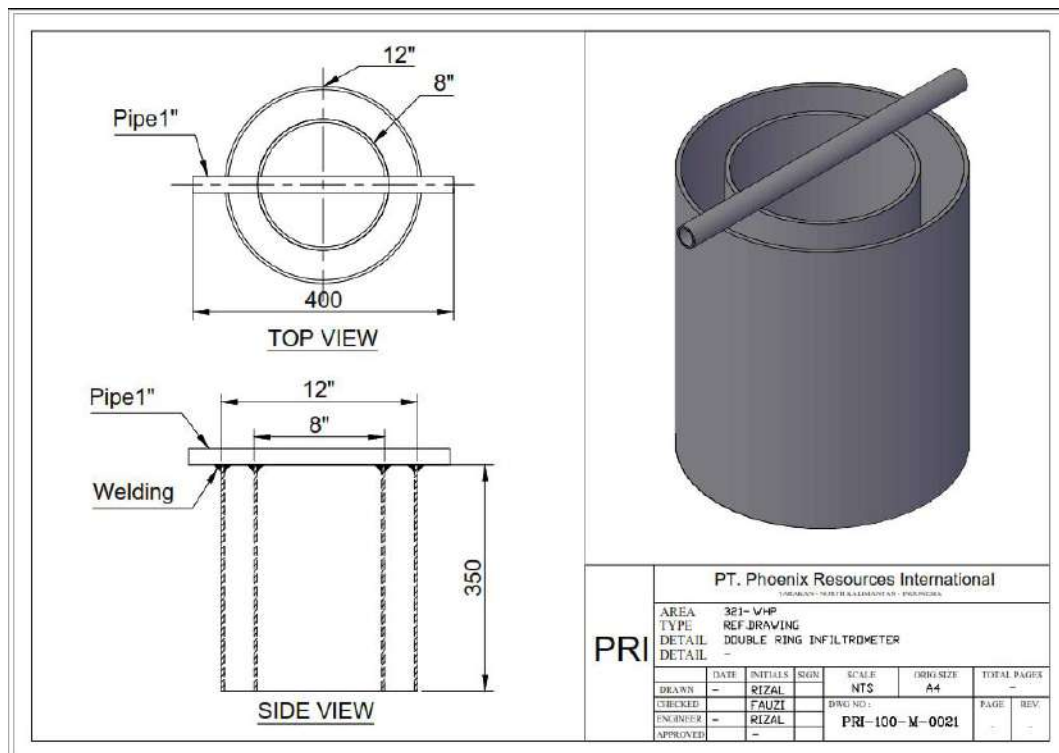
3.6.3 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait, literatur, maupun dokumen pendukung penelitian. Data sekunder yang digunakan meliputi:

1. Peta lokasi penelitian.
2. Luas area landfill.
3. Literatur, jurnal ilmiah, dan buku yang berkaitan dengan infiltrasi, metode Horton, lindi, dan sifat fisik tanah.
4. Standar, peraturan, dan pedoman yang mendukung penelitian, seperti SNI, PP, Permen, atau pedoman teknis lainnya.
5. Dokumen teknis atau profil lokasi penelitian yang diperoleh dari pihak perusahaan.

3.6.4 Alat *Double Ring Infiltrometer*

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan dengan menggunakan alat *double ring infiltrrometer* dengan ukuran diameter ring 12 inch dan 8 inch . Alat ini dilengkapi dengan tangki cadangan air, namun pada penelitian tangki air diganti dengan ember dan jerigen. Selain itu masih perlu dilengkapi dengan handle grip dan pemukul besi untuk memasukkan silinder ke dalam tanah. Selanjutnya *double ring infiltrrometer* dimasukkan ke dalam tanah sedalam 5-10 cm, pada silinder tersebut dipasang penggaris berskala. Kemudian dituangkan air kedalam silinder dengan ketinggian 10-20 cm dari permukaan. Penurunan tinggi air dicatat dengan interval setiap 5 menit. Pengamatan dihentikan setelah di capai infiltrasi yang relatif konstan, laju infiltrasi dinyatakan cm/jam.



Sumber : Auto Cad

Gambar 3.2 Double Ring Infiltrrometer

3.7. Parameter Penelitian

Parameter penelitian merupakan variabel yang diamati dan diukur untuk mencapai tujuan penelitian. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas parameter infiltrasi, parameter karakteristik tanah, dan parameter potensi pencemaran air bawah tanah.

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

No	Variabel	Parameter	Indikator	Satuan	Metode Pengukuran
1	Laju Infiltrasi Tanah	Penurunan muka air	Tinggi muka air yang meresap ke dalam tanah	cm	Double Ring Infiltrrometer
2	Laju Infiltrasi Tanah	Laju infiltrasi (f)	Cepat nya air dalam tanah	mm/jam	Perhitungan infiltrasi
3	Laju Infiltrasi	Kapasitas infiltrasi awal	Infiltrasi awal pengujian	mm/jam	Analisis Horton

No	Variabel	Parameter	Indikator	Satuan	Metode Pengukuran
	Tanah	(f _o),(f _c),(K)			
4	Karakteristik Tanah	Tekstur tanah	Pasir, debu, dan liat	%	Observasi/Literatur
5	Karakteristik Tanah	Kepadatan Tanah	Sand,debu ,Liat	%	Observasi/Literatur
6	Karakteristik Tanah	Kadar Air Tanah	Kering,Lembab, Jenuh	%	Observasi/Literatur
7	Karakteristik Tanah	Porositas Tanah	Rendah,Sedang, Tinggi,Sangat Tinggi	%	Observasi/Literatur
8	Potensi Pencemaran Air Tanah	Klasifikasi infiltrasi	Sangat lambat – sangat cepat	Kategori	Klasifikasi SCS
9	Potensi Pencemaran Air Tanah	Potensi pembentukan lindi	Memenuhi , Tidak memenuhi	Kategori	Permen LHK No.59 Th.2016
10	Potensi Pencemaran Air Tanah	Potensi migrasi pencemar	Rendah, sedang, tinggi	Kategori	Analisis deskriptif berdasarkan infiltrasi

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah laju infiltrasi tanah yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan *Double Ring Infiltrometer* dan dianalisis menggunakan metode Horton. Nilai infiltrasi yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengevaluasi potensi perpindahan lindi dan potensi pencemaran air bawah tanah pada area *landfill* di PT.Phoenix Resources International.

3.5 Metode Analisis Data

3.8.1 Pengukuran Laju Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan menggunakan *Double Ring Infiltrometer*. Alat ini terdiri dari dua cincin konsentris yang ditanam sebagian ke dalam tanah. Kedua cincin diisi air dengan tinggi muka air yang sama, sedangkan cincin luar berfungsi mengurangi aliran lateral sehingga infiltrasi pada cincin dalam berlangsung secara vertikal. Penurunan muka air pada cincin bagian dalam diukur pada interval waktu tertentu hingga laju infiltrasi mencapai kondisi konstan. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan metode Horton untuk menentukan karakteristik laju infiltrasi tanah. Dalam mengukur laju infiltrasi di lapangan menggunakan persamaan 2.2 berikut,

$$f = \frac{\Delta H}{t} \times 60 \text{ (cm/jam)}$$

3.8.2 Laju Infiltrasi Dengan Metode Horton

Data hasil pengukuran infiltrasi di lapangan dianalisis menggunakan metode Horton untuk mengetahui karakteristik laju infiltrasi tanah. Metode Horton menggambarkan bahwa laju infiltrasi akan menurun seiring bertambahnya waktu hingga mencapai laju infiltrasi konstan. Persamaan Horton 2.1 yang digunakan adalah,

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

3.8.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lima titik pengamatan (LF-01 sampai LF-05) yang sama dengan lokasi pengujian infiltrasi menggunakan *Double Ring Infiltrometer*. Hasil sampel tanah dari laboratorium di klasifikasikan untuk memperoleh nilai *bulk density*, kadar air, dan porositas. Parameter yang dianalisis meliputi:

1. Tekstur tanah, untuk mengetahui klasifikasi tanah berdasarkan persentase pasir, debu, dan liat.
2. *Bulk density*, untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah yang memengaruhi ruang pori.

3. Kadar air tanah, untuk mengetahui kondisi kelembapan awal tanah saat pengujian infiltrasi.
4. Porositas tanah, untuk mengetahui persentase ruang pori sebagai media pergerakan air

Data karakteristik fisik tanah kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran laju infiltrasi menggunakan model Horton sehingga dapat diketahui pengaruh masing-masing parameter terhadap kemampuan infiltrasi tanah.

3.9 Analisis Potensi Pencemaran

3.9.1 Potensi Pencemaran menurut Klasifikasi SCS

Nilai laju infiltrasi yang diperoleh dari analisis metode Horton selanjutnya dibandingkan dengan klasifikasi laju infiltrasi *Soil Conservation Service (SCS)* untuk menentukan kelas infiltrasi. Hasil klasifikasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi potensi pergerakan lindi dan potensi pencemaran pada area penelitian. Semakin tinggi nilai laju infiltrasi, semakin besar potensi pergerakan lindi dan risiko pencemaran air tanah.

3.9.2 Analisis Kualitas Air Tanah

Data kualitas air tanah diperoleh dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel air tanah yang diambil dari lokasi penelitian. Parameter yang dianalisis meliputi pH, TDS, BOD, COD, amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), besi (Fe), mangan (Mn), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan kromium total (Cr).

Hasil pengujian laboratorium selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu kualitas air tanah yang berlaku untuk menentukan apakah setiap parameter memenuhi atau melebihi baku mutu. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi potensi pencemaran air tanah yang berkaitan dengan laju infiltrasi dan pergerakan lindi pada area penelitian.

3.9.3 Analisis Kualitas Lindi

Analisis kualitas lindi dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel lindi yang diambil dari lokasi penelitian. Parameter yang dianalisis meliputi pH, Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), besi (Fe), dan parameter lain yang tersedia dalam hasil pengujian.

Hasil analisis laboratorium kemudian dibandingkan dengan baku mutu lindi yang berlaku sesuai peraturan perundang-undangan. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah kualitas lindi memenuhi atau melebihi baku mutu. Selanjutnya, hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi potensi pergerakan lindi serta potensi pencemaran terhadap tanah dan air tanah pada area penelitian.

Berdasarkan Permen LHK No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, Klasifikasi tingkat pencemaran terhadap hasil uji lindi dengan menggunakan Indeks Potensi Pencemaran (P) dengan rumus 2.4 adalah,

$$P = \frac{Ch}{Cb}$$

Analisis kualitas air lindi dilakukan untuk mengetahui apakah karakteristik air lindi di area landfill PT Phoenix Resources International telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

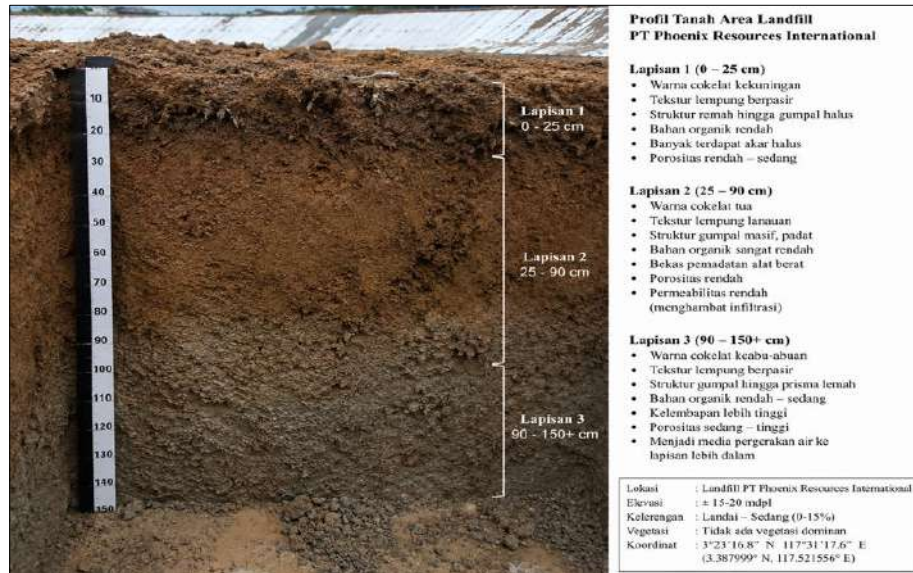
4.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di area *landfill* PT Phoenix Resources International (PRI) yang berlokasi di Kelurahan Juata Permai, Kecamatan Tarakan Utara, Kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Utara. Area penelitian memiliki luas sekitar 23.654,016 m² dan digunakan sebagai tempat pengelolaan limbah padat hasil proses produksi pulp. Lokasi ini dipilih karena memiliki sistem pengelolaan lindi serta kondisi tanah yang sesuai untuk penelitian laju infiltrasi dan potensi pergerakan lindi.

4.1.2 Kondisi Geologi dan Profil Tanah

Area penelitian berada di Landfill PT Phoenix Resources International (PRI), Tarakan Utara, Kalimantan Utara, pada koordinat 3°23'16.8" LU dan 117°31'17.6" BT dengan elevasi sekitar 15-20 mdpl. Lokasi penelitian memiliki topografi yang didominasi oleh kelerengan landai (0-8%) pada area terbuka dan kelerengan sedang (8-15%) pada tanggul landfill. Tutupan lahan berupa lahan terbuka (*bare land*) dengan vegetasi yang sangat terbatas, hanya berupa rumput dan semak pada beberapa bagian di luar area landfill.

Gambar 4.1 Profil Tanah



(Sumber : data hasil pengamatan)

4.1.3 Curah Hujan

Wilayah Kota Tarakan termasuk daerah beriklim tropis dengan curah hujan yang relatif tinggi sepanjang tahun. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan air hujan yang cukup untuk mendukung proses infiltrasi pada area *landfill*. Curah hujan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan lindi, karena semakin besar jumlah air yang masuk ke timbunan sampah, semakin besar pula potensi terbentuknya lindi yang dapat bergerak ke dalam tanah apabila sistem pengelolaan lindi tidak berfungsi secara optimal.

4.1.4 Titik Pengamatan

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan pada lima titik pengamatan (LF-01 sampai LF-05) yang tersebar pada area landfill. Penentuan titik dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan kondisi lokasi agar mewakili karakteristik area penelitian. Pada setiap titik dilakukan pengujian menggunakan *double ring infiltrometer* serta pengambilan sampel tanah untuk analisis sifat fisik di laboratorium. Data dari kelima titik tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis laju infiltrasi, karakteristik tanah, serta potensi pergerakan lindi dan potensi pencemaran pada area penelitian.

4.2 Hasil Pengukuran Lapangan

4.2.1 Hasil Pengukuran Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan pada lima titik pengamatan (LF-01 sampai LF-05) menggunakan *Double Ring Infiltrometer*. Pengamatan dilakukan pada interval waktu 5 menit hingga laju infiltrasi menunjukkan kondisi relatif konstan. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan metode Horton untuk memperoleh karakteristik infiltrasi tanah pada setiap titik pengamatan. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan laju infiltrasi pada setiap titik. Nilai laju infiltrasi yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Laju Infiltrasi

Titik	Tinggi Awal (cm)	Tinggi Akhir (cm)	ΔH (cm)	Waktu (menit)
LF-01	27,0	20,4	6,6	120
LF-02	27,0	20,0	7,0	120
LF-03	27,0	20,8	6,2	120
LF-04	27,0	19,9	7,1	120
LF-05	27,0	21,1	5,9	120

(Sumber : Data Hasil Penelitian)

4.2.2 Hasil Pengukuran Infiltrasi Pada Tiap Titik

Hasil pengukuran laju infiltrasi pada lima titik pengamatan menunjukkan adanya variasi nilai infiltrasi yang dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah pada masing-masing lokasi. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Pengukuran Infiltrasi Pada Tiap Titik Sampel

Titik Pengamatan	Penurunan Muka Air (ΔH) (cm)	Waktu (menit)	Laju Infiltrasi (cm/jam)	Laju Infiltrasi (mm/jam)	Keterangan
LF-01	6,60	120	3,30	33,0	Infiltrasi sedang
LF-02	7,00	120	3,50	35,0	Infiltrasi sedang
LF-03	6,20	120	3,10	31,0	Infiltrasi sedang
LF-04	7,10	120	3,55	35,5	Nilai infiltrasi tertinggi
LF-05	5,90	120	2,95	29,5	Nilai infiltrasi terendah
Rata-rata	6,56	120	3,28	32,8	Kelas infiltrasi sedang

(Sumber : Data Hasil Penelitian)

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Laju Infiltrasi

Titik Pengamatan	ΔH (cm)	Waktu (menit)	Laju Infiltrasi (cm/jam)	Laju Infiltrasi (mm/jam)
LF-01	6,60	120	3,30	33,0
LF-02	7,00	120	3,50	35,0
LF-03	6,20	120	3,10	31,0
LF-04	7,10	120	3,55	35,5
LF-05	5,90	120	2,95	29,5
Rata-rata	6,56	120	3,28	32,8

(Sumber : Data Hasil Penelitian)

Berdasarkan Tabel 4.3, hasil pengukuran menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada lima titik pengamatan berkisar antara 2,95-3,55 cm/jam atau 29,5-35,5 mm/jam, dengan rata-rata 3,28 cm/jam (32,8 mm/jam). Nilai laju infiltrasi tertinggi terdapat pada titik LF-04, sedangkan nilai terendah terdapat pada titik LF-05.

4.2.3 Hasil Kualitas Lindi

Analisis kualitas lindi dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk mengetahui kesesuaian kualitas lindi dengan baku mutu yang berlaku. Parameter yang dianalisis meliputi pH, Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), dan besi (Fe). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4.Hasil Kualitas Lindi

Parameter	Inlet Leachate	Discharge	Baku Mutu Discharge	Keterangan
pH	7,0	7,6	6-9	Memenuhi
TSS (mg/L)	70	69	≤ 200	Memenuhi
TDS (mg/L)	2392	2375	≤ 2000	Tidak Memenuhi
COD (mg/L)	461	295	≤ 100	Tidak Memenuhi
Fe (mg/L)	48	0,3	≤ 5	Memenuhi

(Sumber: Leachate Treatment Plant PRI 2026)

4.3 Analisis Laju Infiltrasi

4.3.1 Perhitungan Laju Infiltrasi

Dalam penelitian ini, perhitungan laju infiltrasi lapangan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran penurunan muka air (ΔH) pada cincin dalam *double ring infiltrometer* selama waktu pengamatan. Pengukuran dilakukan pada lima titik pengamatan dengan waktu pengujian selama 120 menit atau 2 jam. Berdasarkan Tabel 4.1, Pengukuran Hasi Laju infiltrasi dihitung menggunakan rumus 2.2 sebagai berikut.

Contoh perhitungan pada titik LF-01

Diketahui:

- Tinggi muka air awal = 27,0 cm
- Tinggi muka air akhir = 20,4 cm
- Penurunan muka air (ΔH) = (27,0 – 20,4) = 6,6 cm
- Lama pengamatan = 120 menit

laju infiltrasi dihitung sebagai berikut:

$$f = \frac{6,6}{120} \times 60 \text{ (cm/jam)}$$

$$f = 0,55 \times 60 \text{ (cm/jam)}$$

$$f = 3,30 \text{ cm/jam}$$

Maka laju infiltrasi pada titik sampel LF-01 adalah 3,30 cm/jam, yang menunjukkan infiltrasi sedang pada titik sampel tersebut.

4.3.2 Klasifikasi Laju Infiltrasi Berdasarkan SCS

Tabel 4.5. Laju Infiltrasi yang di peroleh

Titik Sampel	Laju Infiltrasi (cm/jam)	Laju Infiltrasi (mm/jam)
LF-01	3,30	33,0
LF-02	3,50	35,0
LF-03	3,10	31,0
LF-04	3,55	35,5
LF-05	2,95	29,5

(Sumber: data hasil penelitian)

Setelah dilakukan perhitungan laju infiltrasi pada masing-masing titik pengamatan, selanjutnya hasil tersebut diklasifikasikan berdasarkan *Soil Conservation Service (SCS)* untuk mengetahui tingkat kemampuan tanah dalam meloloskan air. Hasil klasifikasi laju infiltrasi disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.6 Klasifikasi Laju Infiltrasi Berdasarkan SCS

Titik Sampel	Laju Infiltrasi (mm/jam)	Klasifikasi SCS
LF-01	33,0	Sedang
LF-02	35,0	Sedang
LF-03	31,0	Sedang
LF-04	35,5	Sedang
LF-05	29,5	Sedang

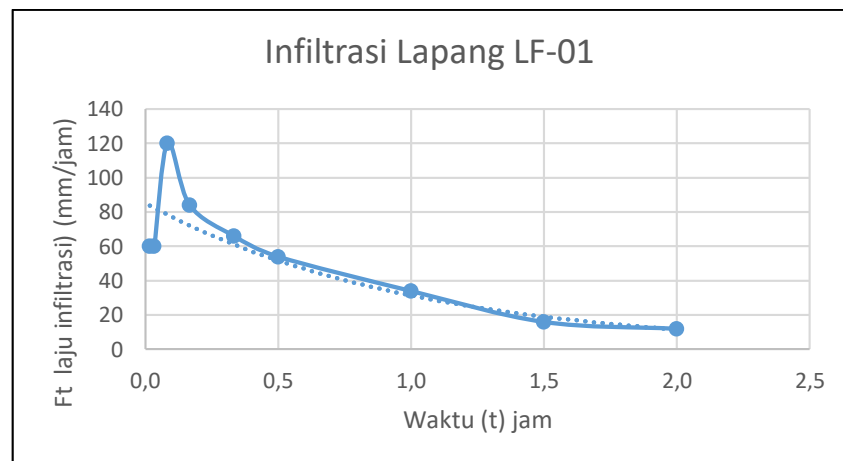
(Sumber: data hasil penelitian)

4.4 Grafik Infiltrasi

Grafik infiltrasi didapatkan dari hasil pengamatan dan perhitungan laju infiltrasi lapangan di area *Landfill* selama 2 jam. Kemudian di modelkan dengan grafik hasil infiltrasi lapang sebagai berikut:

1. Grafik Infiltrasi di titik sampel LF-01

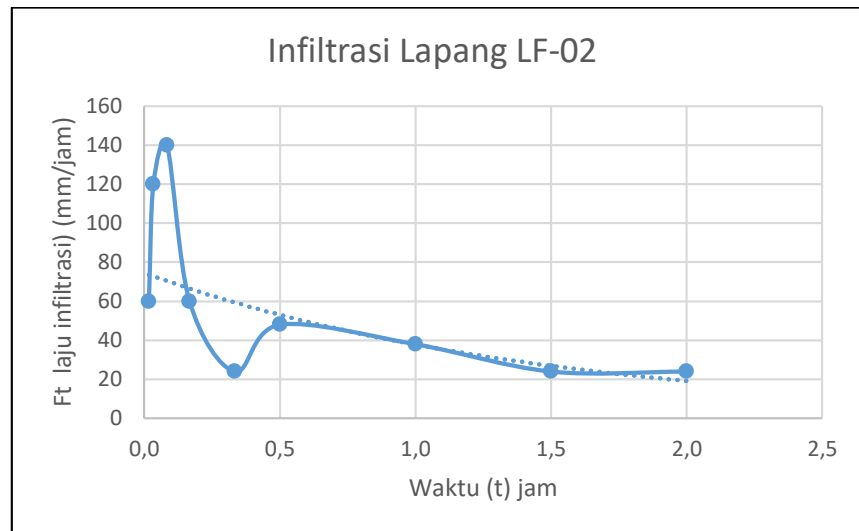
Gambar 4.2 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-01



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

2. Grafik Infiltrasi di titik sampel LF-02

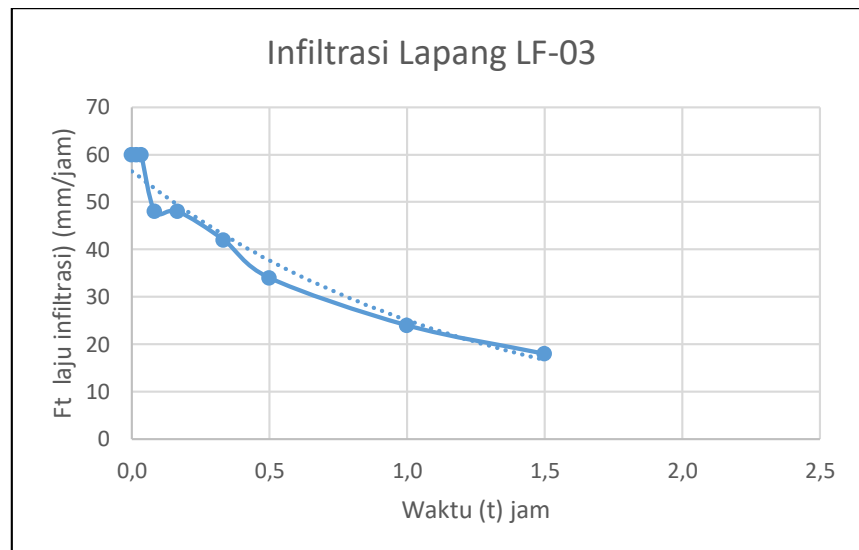
Gambar 4.3 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-02



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

3. Grafik Infiltrasi di titik sampel LF-03

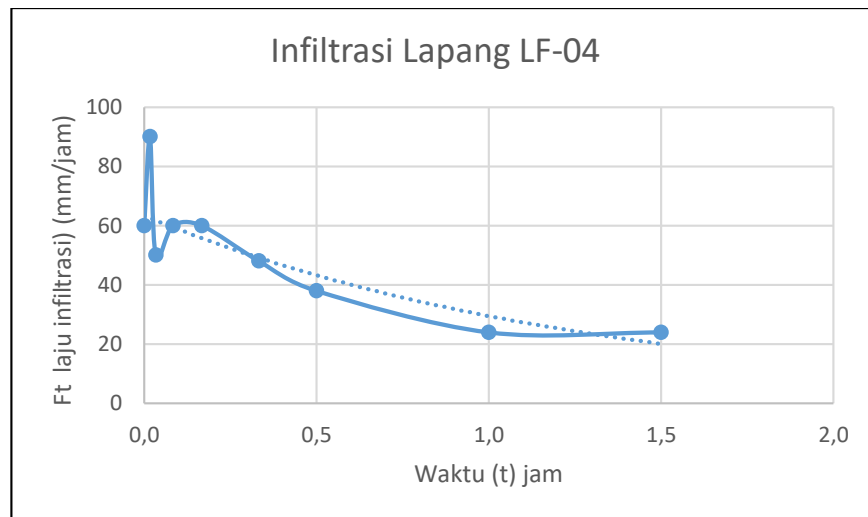
Gambar 4.4 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-03



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

4. Grafik Infiltrasi di titik sampel LF-04

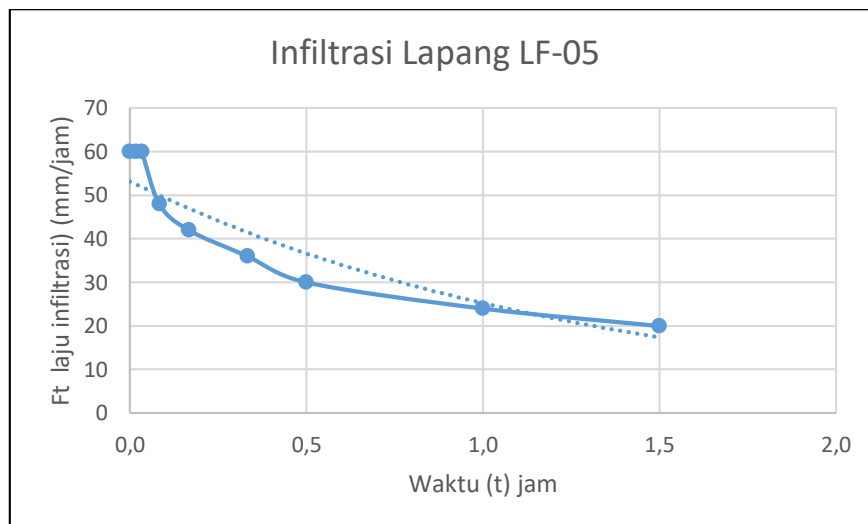
Gambar 4.5 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-04



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

5. Grafik Infiltrasi di titik sampel LF-05

Gambar 4.6 Grafik Laju Infiltrasi Titik Sampel LF-05



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

4.5 Analisis Metode Horton

4.4.1 Penentuan Parameter Horton

Dalam menentukan parameter infiltrasi menggunakan Metode Horton, analisis mengacu pada data hasil pengukuran laju infiltrasi lapangan menggunakan *Double Ring Infiltrometer* pada lima titik pengamatan. Data yang digunakan berupa laju infiltrasi pada setiap interval waktu selama 120 menit. Penentuan laju infiltrasi awal (f_0) diperoleh dari nilai laju infiltrasi pada awal pengujian, sedangkan laju infiltrasi konstan (f_c) diperoleh dari laju infiltrasi pada akhir pengujian ketika nilainya telah mendekati konstan. Penurunan infiltrasi (k) ditentukan melalui proses regresi (*curve fitting*) menggunakan data laju infiltrasi terhadap waktu. Berdasarkan parameter tersebut, maka analisis infiltrasi pada lokasi penelitian menggunakan Persamaan Horton (Persamaan 2.2) sebagai berikut:

Contoh Perhitungan Metode Horton pada LF-01

Diketahui :

$$f_0 : 7,919 \text{ cm/jam}$$

$$f_c : 12 \text{ cm/jam}$$

$$e : 2,718$$

$$k : -1,37 \text{ jam}^{-1}$$

$$t : 0,0167 \text{ jam}$$

Ditanyakan :

Kapasitas infiltrasi pada saat ke t (f_t) = cm/jam

Dijawab :

$$f_t = 12 + (7,919 - 12)2,718^{-1,37}$$

$$f_t = 12 + (-4,081)2,718^{-1,37}$$

Hitung nilai eskponen $e = 2,718^{-1,37} \approx 0,254$

$$f_t = 12 + (-4,081 \times 0,254)$$

$$f_t = -4,081 \times 0,254 = -1,0366$$

$$f_t = 12 + (-1,0366)$$

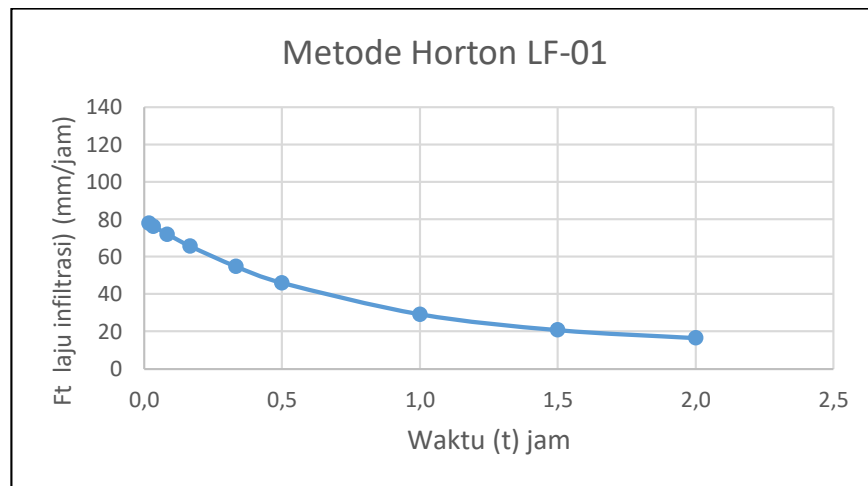
$$f_t = 10,96 \text{ cm/jam}$$

4.4.2 Kurva Horton

Berdasarkan hasil analisis, laju infiltrasi rata-rata pada lokasi penelitian sebesar 3,28 cm/jam (32,8 mm/jam) dan termasuk dalam kelas infiltrasi sedang berdasarkan klasifikasi *Soil Conservation Service (SCS)*. Kurva Horton memperlihatkan bahwa penurunan laju infiltrasi berlangsung secara eksponensial hingga mendekati laju infiltrasi konstan (f_c)

1. Grafik Horton di titik sampel LF-01

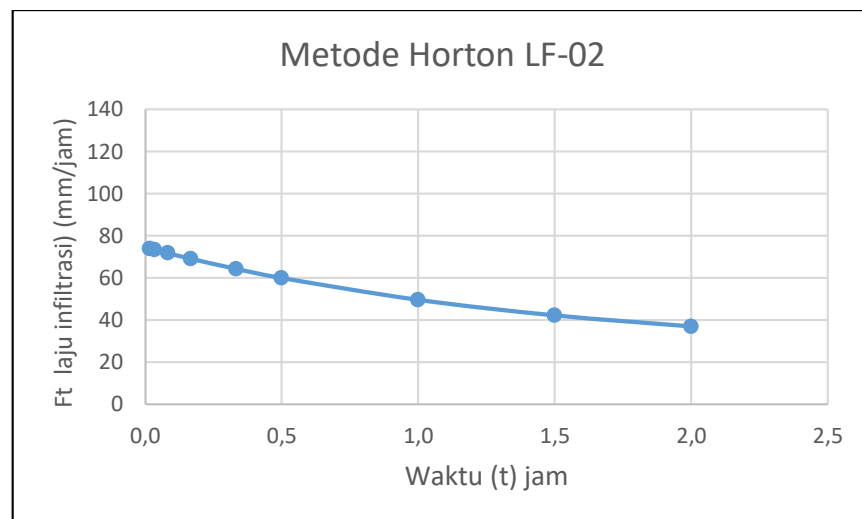
Gambar 4.7 Grafik Horton Titik Sampel LF-01



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

2. Grafik Horton di titik sampel LF-02

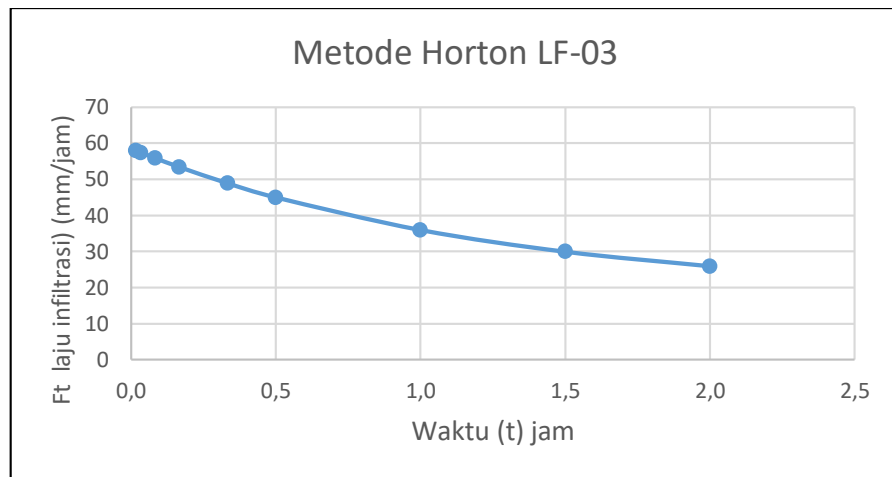
Gambar 4.8 Grafik Horton Titik Sampel LF-02



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

3. Grafik Horton di titik sampel LF-03

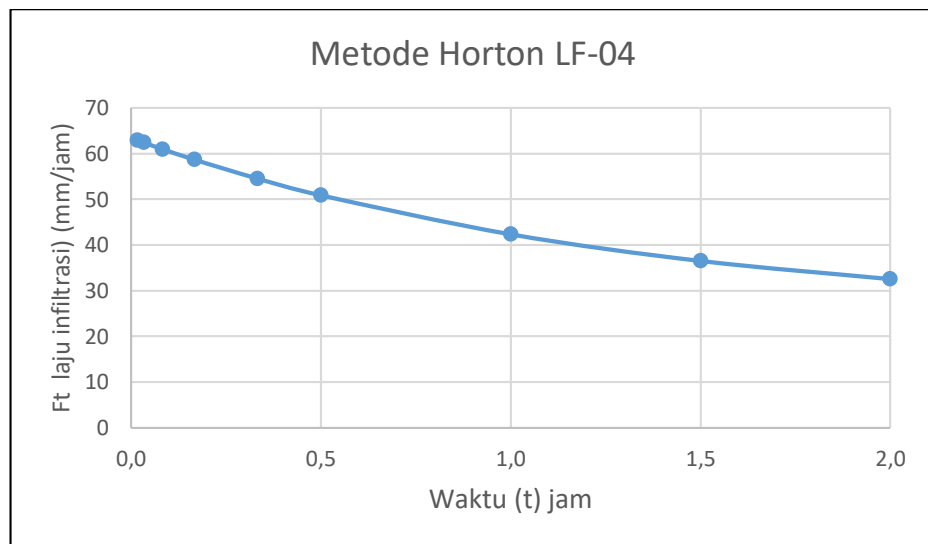
Gambar 4.9 Grafik Horton Titik Sampel LF-03



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

4. Grafik Horton di titik sampel LF-04

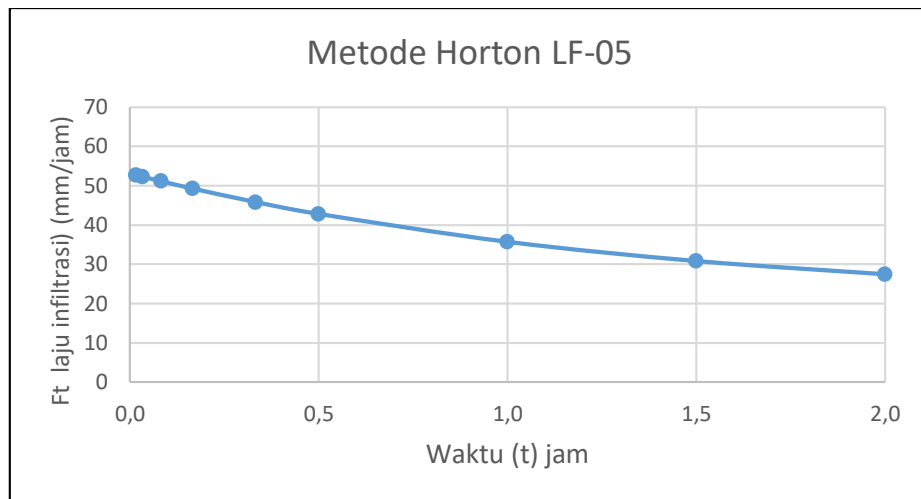
Gambar 4.10 Grafik Horton Titik Sampel LF-04



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

5. Grafik Horton di titik sampel LF-05

Gambar 4.11 Grafik Horton Titik Sampel LF-05



(Sumber: Data Hasil Penelitian)

4.6 Interpretasi

Kurva Horton pada kelima titik pengamatan menunjukkan pola yang relatif seragam, yaitu laju infiltrasi tinggi pada awal pengujian kemudian menurun secara eksponensial hingga mencapai laju infiltrasi konstan. Perbedaan nilai infiltrasi antar titik dipengaruhi oleh variasi sifat fisik tanah, seperti tekstur, bulk density, porositas, dan kadar air. Berdasarkan nilai rata-rata laju infiltrasi sebesar 3,28 cm/jam, lokasi penelitian termasuk dalam kelas infiltrasi sedang, sehingga masih memungkinkan terjadinya pergerakan air dan lindi ke lapisan tanah yang lebih dalam. Oleh karena itu, pengelolaan sistem landfill dan pengendalian lindi tetap diperlukan untuk meminimalkan potensi pencemaran air tanah.

4.7 Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Laju Infiltrasi

4.7.1 Hasil Karakteristik Tanah

1. Hasil Analisis Tekstur Tanah

Hasil analisis tekstur tanah pada lima titik pengamatan di area *landfill* PT Phoenix Resources International disajikan pada Tabel 4.5. Berdasarkan klasifikasi United States Department of Agriculture (USDA), tekstur tanah pada lokasi

penelitian terdiri atas dua kelas, yaitu Lempung Berpasir (*Sandy Clay Loam*) dan Lempung (*Clay Loam*).

Tabel 4.7 Hasil Analisis Tekstur Tanah Area Landfill

Titik Sampel	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	Klasifikasi Tekstur (USDA)
LF-01	54	18	28	Lempung Berpasir (<i>Sandy Clay Loam</i>)
LF-02	46	22	32	Lempung (<i>Clay Loam</i>)
LF-03	57	16	27	Lempung Berpasir (<i>Sandy Clay Loam</i>)
LF-04	44	24	32	Lempung (<i>Clay Loam</i>)
LF-05	52	20	28	Lempung Berpasir (<i>Sandy Clay Loam</i>)
Rata-rata	50,6	20,0	29,4	Didominasi Lempung Berpasir hingga Lempung

(Sumber: data hasil penelitian)

2 . Hasil Analisis Kepadatan Tanah

Pengukuran sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah pada setiap titik pengamatan. Parameter yang dianalisis meliputi berat isi basah (*wet bulk density*), kadar air, dan berat isi kering (*bulk density*). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kepadatan Tanah (*Bulk Density*)

Titik Sampel	Berat Isi Basah (g/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (<i>Bulk Density</i>) (g/cm ³)	Klasifikasi Kepadatan
LF-01	1,88	28,5	1,46	Sedang
LF-02	1,82	31,2	1,39	Sedang
LF-03	1,89	27,9	1,48	Sedang
LF-04	1,85	32,0	1,40	Sedang
LF-05	1,88	29,8	1,45	Sedang
Rata-rata	1,86	29,9	1,44	Sedang

(Sumber: data hasil penelitian)

3. Hasil Analisis Kadar Air Tanah

Kadar air tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang memengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap dan meloloskan air. Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengetahui kondisi kelembapan tanah pada setiap titik

pengamatan di lokasi penelitian. Hasil pengukuran kadar air tanah disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Laboratorium Kadar Air Tanah

Titik Sampel	Kadar Air (%)	Klasifikasi	Kondisi Tanah
LF-01	28,5	Sedang	Lembap
LF-02	31,2	Tinggi	Lembap
LF-03	27,9	Sedang	Lembap
LF-04	32,0	Tinggi	Lembap
LF-05	29,8	Sedang	Lembap
Rata-rata	29,9	Sedang	Lembap

(Sumber: Soil Water Content, PRI 2026)

4. Hasil Analisis Porositas Tanah

Porositas tanah merupakan persentase ruang pori yang terdapat di dalam tanah terhadap volume total tanah. Besarnya porositas memengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan dan meloloskan air serta menyediakan ruang bagi sirkulasi udara (aerasi). Hasil perhitungan porositas tanah pada setiap titik pengamatan disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Laboratorium Porositas Tanah

Titik Sampel	Bulk Density (g/cm ³)	Porositas (%)	Klasifikasi	Karakteristik
LF-01	1,46	44,91	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
LF-02	1,39	47,55	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
LF-03	1,48	44,15	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
LF-04	1,40	47,17	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
LF-05	1,45	45,28	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup
Rata-rata	1,44	45,81	Tinggi	Infiltrasi baik dan aerasi cukup

(Sumber: Laboratory ,PRI 2026)

4.8 Analisis Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah

4.8.1 Analisis Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah Berdasarkan Klasifikasi SCS

Tabel 4.11 Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Klasifikasi SCS

Parameter	Hasil Penelitian	Klasifikasi SCS	Interpretasi
Laju infiltrasi	32,8 mm/jam	Sedang (20-63 mm/jam)	Potensi pergerakan lindi sedang
Potensi pencemaran	Sedang	Sedang	Lindi masih berpotensi bergerak menuju lapisan tanah yang lebih dalam sehingga diperlukan pengelolaan dan pemantauan secara berkala.

(Sumber : Data Hasil Penelitian)

4.8.2 Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Baku Mutu Lindi

Tabel 4.12 Analisis Potensi Pencemaran Berdasarkan Baku Mutu Lindi

Parameter	Hasil Uji (Ch)	Baku Mutu (Cb)
pH	7,6	6-9
TDS	2.375 mg/L	2.000 mg/L
TSS	1 mg/L	200 mg/L
COD	290 mg/L	300 mg/L
Fe	0,30 mg/L	5,00 mg/L

(Sumber : Data Hasil Penelitian)

Contoh Perhitungan

1. TDS

$$P = \frac{2375}{2000}$$

$$P = 1,19$$

$$P > 1$$

Artinya, TDS melebihi baku mutu sehingga berpotensi memberikan kontribusi terhadap pencemaran.

4.9 Pembahasan Umum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju infiltrasi rata-rata di lokasi penelitian sebesar 32,8 mm/jam, sehingga berdasarkan klasifikasi *Soil Conservation Service (SCS)* termasuk dalam kategori infiltrasi sedang. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah memiliki kemampuan menyerap air pada tingkat sedang, sehingga air hujan maupun lindi masih dapat meresap ke dalam tanah, tetapi tidak berlangsung dengan cepat. Kondisi ini dipengaruhi oleh sifat fisik tanah yang didominasi tekstur *Sandy Clay Loam* hingga *Clay Loam*, dengan kandungan pasir yang cukup tinggi untuk meningkatkan infiltrasi dan kandungan liat yang masih mampu menahan aliran air. Selain itu, nilai *bulk density* sebesar 1,44 g/cm³, porositas 45,81%, dan kadar air tanah 29,9% menyebabkan kemampuan tanah meloloskan air berada pada kategori sedang.

Potensi pencemaran air bawah tanah berdasarkan klasifikasi SCS berada pada kategori sedang karena laju infiltrasi masih memungkinkan terjadinya pergerakan lindi menuju lapisan tanah yang lebih dalam. Namun, berdasarkan hasil analisis kualitas lindi yang dibandingkan dengan baku mutu lindi sesuai Permen LHK No. P.59 Tahun 2016, sebagian besar parameter yang diuji masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa beban pencemar lindi relatif terkendali sehingga potensi pencemaran air bawah tanah tidak terlalu tinggi. Selain itu, keberadaan *geomembran HDPE* dan *Leachate Treatment Plant (LTP)* semakin mengurangi kemungkinan lindi meresap langsung ke dalam tanah.

Faktor yang paling berpengaruh terhadap laju infiltrasi dan potensi pencemaran adalah tekstur tanah, *bulk density*, porositas, dan kualitas lindi. Tekstur tanah menentukan ukuran dan distribusi pori, sedangkan *bulk density* dan porositas memengaruhi kemampuan tanah meloloskan air. Di sisi lain, kualitas lindi yang memenuhi baku mutu akan mengurangi beban pencemar yang berpotensi mencapai air bawah tanah, sedangkan peningkatan konsentrasi parameter yang melebihi baku mutu akan meningkatkan risiko pencemaran.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa tanah bertekstur *Sandy Clay Loam* dan *Clay Loam* umumnya memiliki laju infiltrasi sedang karena dipengaruhi oleh keseimbangan fraksi pasir dan liat. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penggunaan *geomembran* dan sistem pengolahan lindi merupakan komponen penting dalam mengendalikan penyebaran lindi dan melindungi kualitas air bawah tanah.

Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan landfill pada lokasi penelitian telah mampu menekan potensi pencemaran air bawah tanah. Meskipun demikian, pemantauan kualitas lindi berdasarkan baku mutu yang berlaku, kualitas air bawah tanah, serta kondisi sistem pengelolaan landfill perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan efektivitas pengendalian pencemaran dan menjaga kualitas lingkungan secara berkelanjutan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis laju infiltrasi dan potensi pencemaran air bawah tanah di area landfill PT Phoenix Resources International (PRI), dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran menggunakan *Double Ring Infiltrometer* menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada lima titik pengamatan berkisar antara 29,5-35,5 mm/jam dengan nilai rata-rata 32,8 mm/jam. Berdasarkan klasifikasi *Soil Conservation Service (SCS)*, nilai tersebut termasuk dalam kelas infiltrasi sedang (20-63 mm/jam). Hasil analisis metode Horton menunjukkan bahwa laju infiltrasi mengalami penurunan secara eksponensial hingga mencapai kondisi infiltrasi konstan.
2. Karakteristik fisik tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tekstur *Sandy Clay Loam* hingga *Clay Loam*, dengan rata-rata kandungan pasir 50,6%, debu 20,0%, dan liat 29,4%. Nilai *bulk density* sebesar 1,44 g/cm³, porositas 45,81%, dan kadar air tanah 29,9% memengaruhi kemampuan tanah dalam meloloskan air sehingga menghasilkan laju infiltrasi kategori sedang.
3. Berdasarkan klasifikasi *Soil Conservation Service (SCS)*, laju infiltrasi rata-rata sebesar 32,8 mm/jam termasuk dalam kelas infiltrasi sedang, sehingga potensi pergerakan lindi menuju lapisan tanah berada pada kategori sedang. Hasil analisis kualitas lindi yang dibandingkan dengan baku mutu lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016 menunjukkan bahwa sebagian besar parameter yang diuji telah memenuhi baku mutu, sehingga beban pencemar yang berpotensi meresap ke dalam tanah relatif rendah. Selain itu, keberadaan *geomembran HDPE* dan *Leachate Treatment Plant (LTP)* berperan dalam mengurangi perembesan dan mengolah lindi sebelum dilepas ke lingkungan. Oleh karena itu, potensi

pencemaran air bawah tanah pada lokasi penelitian dikategorikan rendah hingga sedang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. PT Phoenix Resources International perlu mempertahankan dan meningkatkan efektivitas sistem pengelolaan landfill, khususnya *geomembran HDPE* dan *Leachate Treatment Plant (LTP)*, agar mampu mencegah perembesan lindi ke dalam tanah secara optimal.
2. Pemantauan kualitas lindi dan kualitas air bawah tanah perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan seluruh parameter tetap memenuhi baku mutu serta mendeteksi potensi pencemaran sejak dini.
3. Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah titik pengamatan, memperluas area penelitian, serta melakukan pengamatan pada musim hujan dan musim kemarau untuk memperoleh gambaran variasi laju infiltrasi yang lebih representatif.
4. Penelitian berikutnya juga dapat mengembangkan analisis dengan mengombinasikan metode Horton dengan metode infiltrasi lainnya atau pemodelan pergerakan lindi sehingga diperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai potensi pencemaran air bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., Ibrahim, A. M., Al-Sulaiman, A. M., & Okasha, R. A. (2024). *Landfill Leachate: Sources, Nature, Organic Composition, and Treatment: An Environmental Overview*. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1), 102293.
- Aryanto, R., Rozy, M. F., Purwiyono, T. T., & Yulianti, R. (2022). Analisis Laju Infiltrasi Berbagai Penggunaan Lahan. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 5(1), 17–23.
- Bagaskoro, Q. M., Wahyuni, S., & Andawayanti, U. (2021). Analisis Laju Infiltrasi Dengan Metode Penggenangan (Flooding) dan Karakteristik Tanah di Kabupaten Sampang, Madura. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 478–488.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education.
- Budianto, P. T. H., Wirosoedarmo, R., & Suharto, B. (2014). Perbedaan Laju Infiltrasi Pada Lahan Hutan Tanaman Industri Pinus, Jati dan Mahoni. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(1), 15–25.
- Cahyaningtyas, F., Auliya, D. F., Nadia, H. S., & Tampubolon, J. A. D. (2025). Penerapan Prinsip Pencegahan (Prevention Principle) dalam Pengelolaan Limbah Cair oleh PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP). *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(11), 2541–2553.
- Dipa, H., Fauzi, M., & Handayani, Y. L. (2021). Analisis Tingkat Laju Infiltrasi Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sail. *Jurnal Teknik*, 15(1), 18–25.
- Juliastuti., & Suhendra, A. (2011). Studi Kapasitas Infiltrasi Metode Horton untuk Pemakaian Biopori di Kampus Universitas Bina Nusantara Berdasarkan Debit Limpasan Permukaan. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*.
- Lu'ay, M. N., Guna, L. A. W., Hariri, A., Komalasari, Y., & Suryan, V. (2025). Analisis Perbandingan Infiltrasi Tanah Menggunakan Dua Metode Sebagai Dasar Menghitung Desain Sistem Drainase Bandar Udara. *SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology*, 3(2).

- Nurfadilah, A., Mulyadi, R., Karyati., & Karmini. (2025). Laju Infiltrasi dan Permeabilitas Tanah Pada Tegakan Sengon, Semak, dan Lahan Terbuka. *Jurnal AGRIFOR*, 24(2), 299–308.
- Rahmanian, M., & Safari, Y. (2020). Contamination Factor and Pollution Load Index to Estimate Source Apportionment of Selected Heavy Metals in Soils Around a Cement Factory, SW Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*.
- Setiawan, I. W., Harisuseno, D., & Wahyuni, S. (2022). Studi Laju Infiltrasi Dengan Menggunakan Model Horton dan Model Kostikov Pada Beberapa Tata Guna Lahan. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 91–104.
- Sonia., Muhelni, L., Anwar, H., & Mukhtar, D. (2025). BOD and COD Content of Leachate from Air Dingin Landfill, Padang City. *TOFEDU: The Future of Education Journal*, 4(7), 3255–3260.
- Soil Science Division Staff. (2017). *Soil Survey Manual* (USDA Handbook No. 18). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Susanawati, L. D., Rahadi, B., & Tauhid, Y. (2017). Penentuan Laju Infiltrasi Menggunakan Pengukuran Double Ring Infiltrometer dan Perhitungan Model Horton Pada Kebun Jeruk Keprok 55 (*Citrus reticulata*) di Desa Selorejo Kabupaten Malang. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 4(1), 28–34.
- Tawakal, G. I., & Lesmana, R. Y. (2022). Analisis Kapasitas Infiltrasi Pada Variasi Tutupan Lahan Dengan Metode Horton di Kota Palangkaraya. *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, 7(3), 804–815.
- Wahyono, S., Sahwan, F. L., Suryanto, F., Febriyanto, I., Nugroho, R., & Hanif, M. (2019). Studi Karakterisasi Sampah Landfill dan Potensi Pemanfaatannya (Studi Kasus di TPA Sukawinatan dan Bantargebang). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 179–188.
- Wang, J., & Qiao, Z. (2024). A Comprehensive Review of Landfill Leachate Treatment Technologies. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1439128.

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Rizal Hadi Pratama, lahir di Jember, Jawa Timur, pada tanggal 11 Maret 1999, merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Suhadi dan Ibu Siti Sundari.

Pendidikan formal penulis diawali di TK.Eko Proyo Jember pada tahun 2005–2006. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan dasar di SDS Yaditra Tarakan pada tahun 2007–2012. Setelah menyelesaikan pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 2 Tarakan pada tahun 2012–2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah kejuruan di SMK Negeri 2 Tarakan dengan mengambil Jurusan Teknik Gambar Bangunan dan berhasil menyelesaikan pendidikan pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan (UBT) melalui jalur Seleksi Mandiri. Selama menempuh pendidikan tinggi, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik dan nonakademik yang mendukung pengembangan kompetensi di bidang teknik sipil, khususnya pada bidang hidrologi, lingkungan, dan perencanaan teknik.

Pada tahun 2024, penulis melaksanakan mutasi studi dan melanjutkan pendidikan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kaltara, Tanjung Selor, mengambil kelas karyawan online untuk menyelesaikan studi sarjana. Selama masa perkuliahan, penulis juga bekerja di bidang teknik sebagai Engineer AutoCAD Civil & Mechanical di PT. Phoenix Resources International, yang memperkuat kemampuan dalam perencanaan, penggambaran teknik, serta penyusunan dokumen teknis pada berbagai pekerjaan konstruksi dan industri.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), penulis menyusun skripsi yang berjudul:

“Analisis Laju Infiltrasi Air Tanah di Area Landfill PT. Phoenix Resources International terhadap Potensi Pencemaran Air Bawah Tanah.”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Fabrikasi *Double Ring Infiltrrometer*



Gambar 1. Pengukuran Pipa untuk alat *Double Ring Infiltrrometer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 2. Pengukuran Pipa untuk alat *Double Ring Infiltrrometer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. Pemotongan Pipa Untuk alat *Double Ring Infiltrrometer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 4. Hasil Pemotongan Pipa 12" dan 8"
Untuk alat *Double Ring Infiltrrometer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 5. Hasil Assembly alat *Double Ring Infiltrrometer*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Lampiran 2. Kegiatan di Lapangan



Gambar 1. Titik Sampel LF-01
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 2. Titik Sampel LF-01
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. Pengukuran Infiltrasi
Titik Sampel LF-01
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 4. Titik Sampel LF-02
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 5. Pengukuran Infiltrasi
Titik Sampel LF-02
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 6. Titik Sampel LF-03
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 7. Pengukuran Infiltrasi
Titik Sampel LF-03
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 8. Titik Sampel LF-04
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 9. Pengukuran Infiltrasi
Titik Sampel LF-04
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 10.
Titik Sampel LF-05
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 11. Pengukuran
Infiltrasi Titik Sampel LF-05
Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 12. Pengukuran
Infiltrasi Titik Sampel LF-05
Sumber : Dokumentasi Pribadi