

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Studi Terdahulu .....	5
2.2 Penelitian di Saluran .....	5
2.3 Penelitian di <i>Outlet</i> .....	8
2.4 Kebaruan Penelitian .....	8
<b>BAB 3 LANDASAN TEORI</b> .....	<b>10</b>
3.1 Erosi .....	10
3.2 Erosi Internal.....	11
3.3 Kerusakan di Gorong-gorong.....	13
3.3.1 Pendangkalan Parit Samping .....	13
3.3.2 Kerusakan Pipa dan Aliran Air Tersumbat .....	13
3.4 Proses <i>Sinkhole</i> .....	14
<b>BAB 4 METODE PENELITIAN</b> .....	<b>16</b>
4.1 Data Penelitian .....	16
4.2 Alat .....	17
4.3 Prosedur Penelitian .....	21



4.4	Kecepatan Aliran di Saluran .....	22
4.5	Variasi Pengujian .....	23
4.6	Analisis dan Hasil yang Diharapkan .....	25
4.7	Bagan Alir Penelitian .....	26
<b>BAB 5</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
5.1	Hasil .....	28
5.1.1	Pengaruh Posisi Kebocoran Terhadap Berat Material yang Tererosi ( <i>W</i> ) .....	28
5.1.2	Pengaruh Waktu Pengaliran ( <i>T</i> ) Terhadap Berat Material Tererosi ( <i>W</i> ) .....	30
5.1.3	Pengaruh Tanpa Penutup di Sambungan ( <i>TP</i> ) Terhadap Berat Material Tererosi ( <i>W</i> ) .....	31
5.1.4	Pengaruh Kecepatan Aliran ( <i>V</i> ) Terhadap Berat Material Tererosi ( <i>W</i> ).....	32
5.1.5	Pengaruh Lebar Bukaannya <i>Outlet</i> ( <i>B</i> ) pada Gradasi Baik Terhadap Berat Material yang Tererosi ( <i>W</i> ).....	33
5.1.6	Pengaruh Lebar Bukaannya <i>Outlet</i> ( <i>B</i> ) pada Gradasi Buruk Terhadap Berat Material yang Tererosi ( <i>W</i> ).....	36
5.2	Pembahasan.....	38
5.2.1	Pengaruh Erosi di Sambungan Saluran Terhadap Terciptanya <i>Sinkhole</i> .....	38
5.2.2	Fungsi Dinding Sayap di Ujung Saluran / <i>Outlet</i> .....	40
5.2.3	Pengaruh Posisi Kebocoran .....	40
5.2.4	Pengaruh Waktu Pengaliran.....	42
5.2.5	Pengaruh Penutup dan Tanpa Penutup di Sambungan.....	42
5.2.6	Pengaruh Kecepatan Aliran .....	43
5.2.7	Pengaruh Lebar Bukaannya <i>Outlet</i> pada Gradasi Butiran .....	44
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
6.1	Kesimpulan .....	46
6.2	Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>48</b>
<b>Lampiran A.....</b>		<b>51</b>
<b>Lampiran B.....</b>		<b>54</b>
<b>Lampiran C.....</b>		<b>57</b>
<b>Lampiran D.....</b>		<b>60</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rangkuman penelitian sebelumnya.....	9
Tabel 3.1	Tingkat erodibilitas tanah ( <i>soil erodibility</i> ) (Gray dan Sotir, 1996).....	10
Tabel 4.1	Pengujian sifat untuk tanah 1 dan tanah 2.....	16
Tabel 4.2	Variasi pengujian.....	25
Tabel 5.1	Pengaruh tipe kebocoran terhadap berat material yang tererosi ( $W$ ).....	28
Tabel 5.2	Pengaruh waktu pengaliran ( $T$ ) terhadap berat material yang tererosi ( $W$ ).....	30
Tabel 5.3	Pengaruh tanpa penutup di sambungan terhadap berat material tererosi ( $W$ ). ....	31
Tabel 5.4	Pengaruh kecepatan aliran ( $V$ ) terhadap berat material yang tererosi ( $W$ ). ....	32
Tabel 5.5	Hasil pengujian pada sampel bergradasi baik (Tanah 1).....	34
Tabel 5.6	Hasil pengujian pada sampel bergradasi buruk (Tanah 2). ....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Proses pengerjaan dan dimensi <i>box culvert precast</i> (Krishna dan Rajasekhar, 2018 ; Propika dkk., 2018). ....	1
Gambar 1.2	Amblasnya di salah satu ruas jalan di Pekanbaru akibat kerusakan drainase (Tribun Pekanbaru, 2025).....	2
Gambar 1.3	Tipe dari <i>outlet box culvert</i> (a) <i>Outlet</i> yang menonjol ke luar; (b) Struktur dengan dinding ujung ( <i>end-wall</i> ); (c) Kombinasi dinding ujung dan dinding sayap ( <i>wing-wall</i> ); (d) Struktur yang mencakup dinding ujung, dinding sayap, ( <i>apron</i> ) dan ( <i>sill</i> ) (Zumrawi, 2014).....	2
Gambar 2.1	Skema pengujian erosi yang dipengaruhi oleh muka air tanah (Guo dkk., 2013).....	5
Gambar 2.2	Eksperimental erosi di sambungan gorong-gorong menggunakan penutup (Sholeha dkk., 2024).....	5
Gambar 2.3	Skema eksperimen pada pipa gorong-gorong bertekanan rendah di tanggul (Tian dkk., 2022). ....	6
Gambar 2.4	Skema pengujian erosi internal di saluran bulat (Zhang dkk., 2020). ....	6
Gambar 2.5	Pengujian erosi pada pipa yang rusak dengan posisi kebocoran berbeda – beda (Tang dkk., 2023).....	7
Gambar 2.6	Alat pengujian erosi pada gorong-gorong bulat (Kuswari dkk., 2024).....	7
Gambar 2.7	Pengujian erosi di sambungan dan di bagian <i>outlet</i> (Sari dkk., 2025). ....	8
Gambar 3.1	Tipe pembentukan erosi (a) <i>Concentrated leak erosion</i> ; (b) <i>Backward erosion</i> ; (c) <i>Contact erosion</i> ; (d) <i>Suffusion</i> (Dastpak dkk., 2023).....	12
Gambar 3.2	Penurunan pada timbunan disebabkan celah yang membuat tanah tergerus di sambungan saluran drainase (Hardiyatmo, 2023). ....	14
Gambar 3.3	Kerusakan dan penyumbatan pada saluran drainase (Navab, 2014). ....	14
Gambar 3.4	Proses pembentukan <i>sinkhole</i> pada saluran gorong-gorong yang rusak (Hewage, 2019). ....	15
Gambar 4.1	Sampel pengujian : (a) tanah 1; (b) tanah 2.....	16
Gambar 4.2	Kurva distribusi butiran pasir Merapi.....	16
Gambar 4.3	Nilai kepadatan tanah dalam berbagai variasi. ....	17



Gambar 4.4	Skema pengujian erosi (a) tampak depan; (b) celah di sambungan dengan penutup ( <i>DP</i> ); (c) tampak samping (tanpa skala, unit dalam milimeter) (Kuswari, 2024). .....	18
Gambar 4.5	Bak penampungan air kapasitas 1.200 liter. ....	18
Gambar 4.6	<i>Box</i> pengujian erosi pada saluran <i>box culvert</i> . ....	19
Gambar 4.7	Detail dan Tampak depan penutup sambungan. ....	19
Gambar 4.8	Pelat penutup untuk kebocoran <i>outlet</i> 10 mm. ....	20
Gambar 4.9	<i>Flow meter</i> . ....	20
Gambar 4.10	Saringan nomor 200. ....	20
Gambar 4.11	Pipa penghubung dari tangki ke alat pengujian. ....	21
Gambar 4.12	Variasi posisi kebocoran dengan penutup (a) di atas ( <i>T1</i> ); (b) di bawah ( <i>T2</i> ); (c) di samping ( <i>T3</i> ); (d) kedua sisi samping dan di atas ( <i>T4</i> ). ....	23
Gambar 4.13	Gambaran celah pada <i>box culvert</i> di lapangan (a) celah di atas ( <i>T1</i> ); (b) celah di bawah ( <i>T2</i> ); (c) celah di samping ( <i>T3</i> ) .....	23
Gambar 4.14	Posisi kebocoran pada sambungan <i>box culvert</i> tanpa penutup. ....	24
Gambar 4.15	Variasi kebocoran di sekitar saluran <i>outlet</i> dengan lebar bukaan (a) Tertutup; (b) 10 mm; (c) 20 mm. ....	24
Gambar 4.16	Area di sekitar <i>outlet</i> tanpa dinding sayap (Zumrawi, 2014) .....	24
Gambar 4.17	Bagan alir penelitian .....	27
Gambar 5.1	Tipe posisi kebocoran di sambungan saluran (a) di atas ( <i>T1</i> ); (b) di bawah ( <i>T2</i> ); (c) di samping ( <i>T3</i> ); (d) kedua sisi samping dan di atas ( <i>T4</i> ). ....	28
Gambar 5.2	Pengaruh tipe kebocoran terhadap berat material yang tererosi ( <i>W</i> ). ....	29
Gambar 5.3	Perbandingan banyak material yang tererosi pada tipe kebocoran ( <i>T3</i> ) (a) 6 menit; (b) 12 menit; (c) 18 menit. ....	29
Gambar 5.4	Pengaruh durasi waktu ( <i>T</i> ) terhadap material yang tererosi ( <i>W</i> ). ....	30
Gambar 5.5	Skema pengujian tanpa penutup ( <i>TP</i> ). ....	31
Gambar 5.6	Pengaruh penutup di sambungan terhadap berat material yang tererosi ( <i>W</i> ). ....	32
Gambar 5.7	Berat material yang tererosi ( <i>W</i> ) disebabkan kecepatan aliran ( <i>V</i> ). ....	33
Gambar 5.8	Tipe bukaan <i>outlet</i> ( <i>B</i> ) (a) tertutup; (b) 10 mm ; (c) 20 mm. ....	35
Gambar 5.9	Pengaruh gradasi baik terhadap berat material yang tererosi ( <i>W</i> ) (a) di sambungan; (b) di <i>outlet</i> ; (c) kumulatif material tererosi. ....	35
Gambar 5.10	Tipe bukaan <i>outlet</i> ( <i>B</i> ) (a) tertutup; (b) 10 mm ; (c) 20 mm .....	37
Gambar 5.11	Pengaruh gradasi buruk terhadap berat material yang tererosi ( <i>W</i> ) (a) di sambungan; (b) di <i>outlet</i> ; (c) kumulatif material tererosi. ....	37



Gambar 5.12	Perbandingan massa tanah bergradasi baik dan gradasi buruk yang mengalami erosi.....	38
Gambar 5.13	Proses erosi pada saluran <i>box culvert</i> (a) fluidisasi ; (b) erosi berlangsung ; (c) fase akhir erosi .....	39
Gambar 5.14	Terbentuknya <i>sinkhole</i> disebabkan oleh proses erosi pada celah sambungan saluran.....	40
Gambar 5.15	Erosi di sekitar saluran <i>outlet</i> . .....	40
Gambar 5.16	Bentuk permukaan tanah akibat erosi pada sambungan <i>box culvert</i> (a) di atas ( <i>T1</i> ); (b) di bawah ( <i>T2</i> ); (c) di samping ( <i>T3</i> ); (d) di kedua sisi samping dan atas ( <i>T4</i> ). .....	41
Gambar 5.17	Visualisasi permukaan tanah dari atas pada pengujian ( <i>T4</i> ) (a) Dengan penutup; (b) tanpa penutup. ....	43
Gambar 5.18	Visualisasi permukaan tanah dari samping pada pengujian ( <i>T4</i> ) (a) Dengan penutup; (b) tanpa penutup. ....	43
Gambar 5.19	Proses penurunan tanah pada gradasi baik (Tanah 1).....	44
Gambar 5.20	Proses penurunan tanah pada gradasi buruk (Tanah 2). .....	45