



**DIMENSI *GROUND SILL* PADA HILIR JEMBATAN  
TINJOMOYO SEMARANG**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil**

**Oleh**

**Nadya Kintantrie Maulana**

**NIM. 5113416019**

**TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Nadya Kintantrie Maulana

NIM : 5113416019

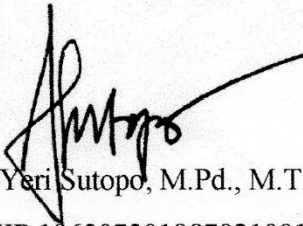
Progam Studi : S-1 Teknik Sipil

Judul Skripsi : **DIMENSI *GROUNDSILL* PADA HILIR JEMBATAN  
TINJOMOYO SEMARANG**

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Progam Studi S-1 Teknik Sipil FT UNNES

Semarang, 22 Juni 2020

Pembimbing,



Dr. Yeri Sutopo, M.Pd., M.T.  
NIP.196307301987021001

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Dimensi *Groundsill* Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang” telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 Juni 2020 Oleh:

Nama : Nadya Kintantrie Maulana

NIM : 5113416019

Progam Studi : S-1 Teknik Sipil

### Panitia

Ketua Panitia



Aris Widodo, S.Pd.M.T.  
NIP.197102071999031001

Sekretaris



Dr.Rini Kusumawardani, S.T., M.Sc., M.T.  
NIP.197809212005012001

Penguji I



Karuniadi Satrijo Utomo, S.T., M.T.  
NIP.197103141999031001

Penguji II



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM  
NIP.196911301994031001

Penguji Anggota III



Dr. Yeri Sutopo, M.Pd, M.T.  
NIP.196307301987021001

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.  
NIP.196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya yang sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, 22 Juni 2020

Penulis



Nadya Kintantrie Maulana

NIM.5113416019

## ABSTRAK

Kasus berubahnya dasar sungai yang mengakibatkan kegagalan struktur jembatan dapat dijumpai di beberapa daerah. Hal ini tentunya dapat dicegah dengan bangunan pelindung sungai atau *groundsill*. Pada dasarnya *groundsill* bertujuan untuk menstabilkan dasar sungai, maka dari itu perencanaan dimensi *groundsill* harus dilakukan secara matang. Penelitian ini berada di hilir Jembatan Tinjomoyo, Sungai Garang, pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT. Perencanaan dimensi *groundsill*, dilakukan dengan beberapa metode analisis yaitu analisis hidrologi, analisis debit banjir rancangan dengan metode HSS *Nakayasu*, analisis dimensi *groundsill*, dan analisis stabilitas *groundsill*. Hasil dimensi *groundsill* direncanakan memiliki beberapa kriteria antara lain, lebar mercu pelimpah 3 m, tinggi mercu pelimpah 2,5 m, tebal kolam olak 0,8 m, panjang kolam olak 12,26 m, tinggi *sub-dam* 1 m, dan kedalaman pondasi 1,8 m. Sedangkan, hasil analisis stabilitas *groundsill* saat kondisi muka air banjir, kondisi muka air normal, kondisi gempa berturut-turut apabila ditinjau terhadap guling dengan syarat  $SF_{guling} > 1,5$  yaitu  $SF_{guling}$  8,096, 31,370, 21,620, ditinjau terhadap geser dengan syarat  $SF_{geser} > 1,5$  yaitu  $SF_{geser}$  3,424, 7,164, 2,750, ditinjau terhadap rembesan (*piping*) dengan syarat  $CL > C$  yaitu  $4,569 > 2,5$ , ditinjau terhadap daya dukung tanah dengan syarat  $Q_{max} < Q_{ijin}$  dan  $Q_{min} < Q_{ijin}$  yaitu  $Q_{max}$  1,699 t/m<sup>2</sup>, 5,509 t/m<sup>2</sup>, 5,522 t/m<sup>2</sup> dan  $Q_{min}$  0,041 t/m<sup>2</sup>, 0,226 t/m<sup>2</sup>, 0,73 t/m<sup>2</sup> dengan  $Q_{ijin}$  sebesar 29.073 t/m<sup>2</sup>.

**Kata kunci :** analisis, *groundsill*, jembatan, sungai

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia sehingga atas ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis berupa skripsi yang berjudul “Dimensi *Groundsill* Pada Hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang” dengan baik, sebagaimana skripsi ini disusun sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Progam Studi S-1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Penyusunan karya tulis ini tak luput oleh bantuan dari beberapa pihak yang diperoleh penulis baik berupa petunjuk, bimbingan, nasihat, serta bantuan lain yang penulis gunakan dalam penyelesaian karya tulis ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberi kesempatan untuk belajar di perguruan tinggi ini;
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik sekaligus Penguji II, Aris Widodo, S.Pd., M.T, Ketua Jurusan Teknik Sipil, dan Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang turut memberi saran, nasihat serta bimbingan kepada penulis;
3. Dr. *Eng.* Yeri Sutopo, M.Pd, M.T., Pembimbing yang telah berkenan untuk mengajarkan banyak hal dengan ikhlas dan sabar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan kekurangan dalam penulisan karya tulis ini;
4. Karuniadi Satrijo Utomo, S.T. M.T., Penguji I yang turut memberi masukan, tanggapan, serta saran perbaikan untuk melengkapi segala kekurangan dari penulis;

5. Seluruh dosen Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan segala kasih sayang berupa ilmu yang kelak bermanfaat bagi penulis;
6. Orang tua, kakak-kakak, teman-teman yang tak henti-hentinya memberikan banyak kasih sayang, semangat serta dukungan kepada penulis;
7. Seluruh pihak yang telah banyak membantu penyusunan karya tulis ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa karya tulis ini masih jauh dalam kata sempurna, untuk itu mohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penulisan karya tulis ini. Penulis juga mengharapkan kritik serta saran yang dapat membangun karya tulis ini menjadi lebih baik lagi dan semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi khalayak umum.

Semarang, 22 Juni 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>HALAMAN SAMPUL</b> .....                     | i    |
| <b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....             | ii   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                 | iii  |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....                | iv   |
| <b>ABSTRAK</b> .....                            | v    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                     | vi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                         | viii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                       | x    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                      | xii  |
| <b>DAFTAR SIMBOL</b> .....                      | xiii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                         | 1    |
| 1.2 Identifikasi Masalah .....                  | 3    |
| 1.3 Pembatasan Masalah .....                    | 4    |
| 1.4 Perumusan Masalah.....                      | 4    |
| 1.5 Tujuan Penelitian .....                     | 4    |
| 1.6 Manfaat Penelitian.....                     | 5    |
| 1.7 Sistematika Penulisan.....                  | 6    |
| <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....              | 8    |
| 2.1 Kajian Pustaka .....                        | 8    |
| 2.2 Landasan Teori.....                         | 16   |
| 2.2.1 <i>Groundsill</i> .....                   | 16   |
| 2.2.2 Hujan .....                               | 17   |
| 2.2.3 Daerah Aliran Sungai .....                | 17   |
| 2.2.4 Analisis Hidrologi.....                   | 18   |
| 2.2.4.1 Hujan Kawasan.....                      | 19   |
| 2.2.5 Analisis Frekuensi dan Probabilitas ..... | 21   |
| 2.2.5.1 Distribusi Normal.....                  | 24   |
| 2.2.5.2 Distribusi <i>Log Normal</i> .....      | 25   |
| 2.2.5.3 Distribusi <i>Log-Pearson III</i> ..... | 26   |
| 2.2.5.4 Distribusi <i>Gumbel</i> .....          | 28   |
| 2.2.6 Uji Kecocokan Data.....                   | 31   |



|   |     |
|---|-----|
| 2.2.6.1 Uji <i>Smirnov-Kolmogorov</i> .....             | 31  |
| 2.2.7 Analisis Intensitas Hujan.....                    | 33  |
| 2.2.8 Debit Banjir Rancangan .....                      | 33  |
| 2.2.8.1 Aliran Dasar ( <i>Base Flow</i> ).....          | 35  |
| 2.2.8.2 Analisis HSS <i>Nakayasu</i> .....              | 36  |
| 2.2.9 Analisis Dimensi Hidrolis <i>Groundsill</i> ..... | 39  |
| 2.2.10 Analisis Gaya-Gaya pada <i>Groundsill</i> .....  | 46  |
| 2.2.10.1 Kondisi Banjir .....                           | 46  |
| 2.2.10.2 Kondisi Normal .....                           | 48  |
| 2.2.10.3 Kondisi Gempa.....                             | 50  |
| 2.2.11 Analisis Stabilitas <i>Groundsill</i> .....      | 52  |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....                  | 58  |
| 3.1 Metode Penelitian .....                             | 58  |
| 3.2 Lokasi Penelitian .....                             | 58  |
| 3.3 Alat dan Bahan.....                                 | 59  |
| 3.4 Teknik Pengumpulan Data .....                       | 60  |
| 3.5 Teknik Analisis Data.....                           | 61  |
| 3.6 Prosedur Penelitian.....                            | 64  |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                | 65  |
| 4.1 Hasil Analisis Hidrologi .....                      | 65  |
| 4.2 Hasil Analisis Frekuensi dan Probabilitas .....     | 66  |
| 4.3 Hasil Uji Kecocokan Data .....                      | 71  |
| 4.4 Hasil Analisis Intensitas Hujan .....               | 72  |
| 4.5 Hasil Aliran Dasar ( <i>Base Flow</i> ).....        | 74  |
| 4.6 Hasil Analisis HSS <i>Nakayasu</i> .....            | 75  |
| 4.7 Hasil Dimensi <i>Groundsill</i> .....               | 79  |
| 4.8 Hasil Analisis Gaya-Gaya yang Bekerja.....          | 86  |
| 4.9 Hasil Analisis Stabilitas <i>Groundsill</i> .....   | 101 |
| <b>BAB V PENUTUP</b> .....                              | 109 |
| 5.1 Simpulan.....                                       | 109 |
| 5.2 Saran.....  | 110 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                             | 111 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                   | 113 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Hasil Perencanaan <i>Groundsill</i> di Sungai Ulu.....                    | 8  |
| <b>Tabel 2.2</b> Hasil Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> di Sungai Ulu.....             | 9  |
| <b>Tabel 2.3</b> Hasil Perencanaan <i>Groundsill</i> di Hilir Bendung Waikomo .....        | 10 |
| <b>Tabel 2.4</b> Hasil Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> di Hilir Bendung Waikomo ..... | 11 |
| <b>Tabel 2.5</b> Hasil Perencanaan <i>Groundsill</i> di Sungai Senjoyo.....                | 11 |
| <b>Tabel 2.6</b> Hasil Perencanaan <i>Groundsill</i> di Sungai Tinga-Tinga.....            | 12 |
| <b>Tabel 2.7</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Normal dan Kosong .....      | 13 |
| <b>Tabel 2.8</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Kosong dan Gempa.....        | 13 |
| <b>Tabel 2.9</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Penuh Air dan Normal .....   | 13 |
| <b>Tabel 2.10</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Penuh Air dan Gempa .....   | 14 |
| <b>Tabel 2.11</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Banjir dan Normal.....      | 14 |
| <b>Tabel 2.12</b> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Banjir dan Gempa .....      | 14 |
| <b>Tabel 2.13</b> Variabel Reduksi <i>Gauss</i> .....                                      | 25 |
| <b>Tabel 2.14</b> Nilai K untuk Distribusi <i>Log-Pearson III</i> .....                    | 27 |
| <b>Tabel 2.15</b> <i>Reduced Mean, Yn</i> .....  | 30 |
| <b>Tabel 2.16</b> <i>Reduced Standard Deviation, Sn</i> .....                              | 30 |
| <b>Tabel 2.17</b> <i>Reduced Variate, Ytr</i> .....  | 31 |
| <b>Tabel 2.18</b> Jenis dan Kriteria Pemilihan Dostribusi .....                            | 31 |
| <b>Tabel 2.19</b> Nilai Kritis $D_o$ .....   | 33 |
| <b>Tabel 2.20</b> Nilai Koefisien Limpasan .....   | 39 |
| <b>Tabel 2.21</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Banjir .....                | 47 |
| <b>Tabel 2.22</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Banjir .....              | 47 |
| <b>Tabel 2.23</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Normal .....                | 49 |
| <b>Tabel 2.24</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Normal .....              | 49 |
| <b>Tabel 2.25</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Gempa.....                  | 51 |
| <b>Tabel 2.26</b> Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Gempa .....               | 51 |
| <b>Tabel 2.27</b> Faktor Daya Dukung Tanah dan Koefisien Geser.....                        | 53 |
| <b>Tabel 2.28</b> Nilai Minimum Angka Rembesan.....  | 54 |
| <b>Tabel 2.29</b> Kapasitas Daya Dukung <i>Terzaghi</i> (1943) .....                       | 55 |
| <b>Tabel 3.1</b> Alat dan Bahan .....  | 59 |
| <b>Tabel 4.1</b> <i>Catchment Area</i> .....   | 65 |
| <b>Tabel 4.2</b> Perhitungan Curah Hujan Kawasan Maksimum Rata-Rata .....                  | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabel 4.3</b> Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Normal dan <i>Gumbel</i> .....                     | 67  |
| <b>Tabel 4.4</b> Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Log Normal dan <i>Log Pearson III</i> .....        | 68  |
| <b>Tabel 4.5</b> Pemilihan Jenis Distribusi .....  | 70  |
| <b>Tabel 4.6</b> Hasil Nilai K dan Curah Hujan Rencana .....   | 70  |
| <b>Tabel 4.7</b> Hasil Uji <i>Smirnov-Kolmogorov</i> .....   | 72  |
| <b>Tabel 4.8</b> Hasil Intensitas Curah Hujan.....   | 74  |
| <b>Tabel 4.9</b> Hasil Perhitungan Kurva Hidrograf <i>Nakayasu</i> .....                                       | 77  |
| <b>Tabel 4.10</b> Hasil Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman.....  | 78  |
| <b>Tabel 4.11</b> Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif .....  | 79  |
| <b>Tabel 4.12</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Berat Sendiri Kondisi Muka Air Banjir dan Normal .....         | 87  |
| <b>Tabel 4.13</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Banjir .....                      | 88  |
| <b>Tabel 4.14</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Normal .....                      | 90  |
| <b>Tabel 4.15</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Beban Gempa Kondisi Muka Air Banjir dan Normal .....           | 91  |
| <b>Tabel 4.16</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Muka Air Normal dan Banjir .....       | 93  |
| <b>Tabel 4.17</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Gempa ..                               | 94  |
| <b>Tabel 4.18</b> <i>Creep Line</i> Muka Air Banjir .....  | 97  |
| <b>Tabel 4.19</b> Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan <i>Uplift</i> Kondisi Muka Air Banjir dan Normal ..... | 98  |
| <b>Tabel 4.20</b> <i>Resume</i> Gaya yang Bekerja Kondisi Muka Banjir .....                                    | 99  |
| <b>Tabel 4.21</b> <i>Resume</i> Gaya yang Bekerja Kondisi Muka Normal.....                                     | 99  |
| <b>Tabel 4.22</b> <i>Resume</i> Gaya yang Bekerja Kondisi Gempa.....   | 100 |
| <b>Tabel 4.23</b> Hasil Panjang Rembesan ( <i>Creep Line</i> ) .....   | 103 |
| <b>Tabel 4.24</b> <i>Resume</i> Kontrol Stabilitas <i>Groundsill</i> .....                                     | 108 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Potongan Memanjang <i>Groundsill</i> .....                               | 17 |
| <b>Gambar 2.2</b> Daerah Aliran Sungai .....   | 18 |
| <b>Gambar 2.3</b> <i>Polygon Thiessen</i> .....  | 21 |
| <b>Gambar 2.4</b> Kurva HSS <i>Nakaysu</i> .....   | 36 |
| <b>Gambar 2.5</b> Gaya Pada Kondisi Banjir (Kementrian Pekerjaan Umum, 2018)..             | 46 |
| <b>Gambar 2.6</b> Gaya Pada Kondisi Normal (Kementrian Pekerjaan Umum, 2018 .              | 49 |
| <b>Gambar 2.7</b> Gaya Pada Kondisi Gempa (Kementrian Pekerjaan Umum, 2018)                | 50 |
| <b>Gambar 3.1</b> Lokasi Penelitian Tampak pada Satelit.....                               | 59 |
| <b>Gambar 4.1</b> Kurva Distribusi Hujan Jam-Jaman.....                                    | 78 |
| <b>Gambar 4.2</b> Hidrograf <i>Nakayasu</i> di Sungai Garang.....                          | 79 |
| <b>Gambar 4.3</b> Penampang Melintang .....  | 81 |
| <b>Gambar 4.4</b> Sketsa Penempatan <i>Groundsill</i> .....                                | 85 |
| <b>Gambar 4.5</b> Dimensi <i>Groundsill</i> .....  | 86 |
| <b>Gambar 4.6</b> Gaya Akibat Berat Sendiri Kondisi Muka Air Banjir dan Normal .           | 87 |
| <b>Gambar 4.7</b> Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Banjir.....                     | 89 |
| <b>Gambar 4.8</b> Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Normal .....                    | 90 |
| <b>Gambar 4.9</b> Gaya Akibat Beban Gempa Kondisi Muka Air Banjir dan Normal               | 92 |
| <b>Gambar 4.10</b> Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Muka Air Banjir dan Normal<br>..... | 93 |
| <b>Gambar 4.10</b> Gaya Akibat Tekanan <i>Uplift</i> Kondisi Muka Air Banjir.....          | 93 |
| <b>Gambar 4.12</b> Panjang Rembesan ( <i>Creep Line</i> ) .....                            | 96 |

## DAFTAR SIMBOL

|            |   |
|------------|---|
| $C$        | = Koefisien <i>thiessen</i>   |
| $X_i$      | = Curah hujan (mm)  |
| $A_i$      | = Luas area (km <sup>2</sup> )                                      |
| $P$        | = Curah hujan kawasan maksimum rata-rata (mm/km <sup>2</sup> )      |
| $K$        | = Nilai faktor distribusi <i>Log Pearson III</i>                    |
| $X_T$      | = Curah hujan rencana (mm)  |
| $D_{\max}$ | = Nilai peluang pengamatan maksimum                                 |
| $D_0$      | = Nilai peluang pengamatan kritis                                   |
| $t$        | = Periode ulang (tahun)   |
| $R_{24}$   | = Curah hujan maksimum yang terjadi dala 24 jam (mm/jam)            |
| $A$        | = Luas DPS (km <sup>2</sup> )                                       |
| $L$        | = Panjang Sungai (km)   |
| $D$        | = Kerapatan jaringan kurang (km/km <sup>2</sup> )                   |
| $Q_b$      | = Aliran dasar atau <i>base flow</i> (m <sup>3</sup> /s)            |
| $\alpha$   | = Parameter hidrograf   |
| $U$        | = Hasil kurva hidrograf <i>Nakayasu</i>                             |
| $C$        | = Nilai koefisien limpasan  |
| $Q_{50}$   | = Debit banjir rancangan periode ulang 50 tahun (m <sup>3</sup> /s) |
| $I_0$      | = Kemiringan asli sungai  |
| $L_1$      | = Panjang tampunan mati sedimen (m)                                 |
| $L_2$      | = Panjang tampunan dinamis sedimen (m)                              |
| $\gamma_w$ | = Berat volume aliran air (1 – 1,2 t/m <sup>3</sup> )               |
| $\gamma_c$ | = Berat volume bendung (t/m <sup>3</sup> )                          |
| $\gamma$   | = Berat isi sedimen (t.m <sup>3</sup> )                             |
| $m$        | = Kemiringan bendung bagian hulu (m)                                |
| $n_{\max}$ | = Kemiringan bendung bagian hilir (m)                               |
| $I_w$      | = Jarak terjunan (m)  |
| $b_2$      | = Lebar mercu subdam (m)  |
| $q_0$      | = Debit per meter pada peluap (m <sup>3</sup> /ds/m)                |
| $h_3$      | = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)                       |
| $H$        | = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)                   |
| $\beta$    | = Koefisien (4,5 – 5,0)   |

- $h_j$  = Tinggi dari permukaan lantai kolam olak sampai ke muka air di atas mercu *subdam*  
 $h_1$  = Tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)  
 $q_1$  = Debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ( $m^3/s/m$ )  
 $V_1$  = Kecepatan jatuh pada terjunan (m/s)  
 $Fr_1$  = Angka Froude aliran pada titik terjunan  
 $h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)  
 $W$  = Gaya akibat berat sendiri (ton)  
 $P_{ev}$  = Gaya akibat tekanan sedimen vertikal (ton)  
 $P_v$  = Gaya akibat tekanan air vertikal (ton)  
 $U$  = Gaya akibat tekanan *uplift* (ton)  
 $PH$  = Gaya akibat tekanan air horizontal (ton)  
 $P_{eh}$  = Gaya akibat tekanan sedimen horizontal (ton)  
 $H$  = Gaya akibat gempa (ton)  
 $M$  = Momen gaya (ton.m)  
 $F_v$  = Gaya vertikal (ton)  
 $F_h$  = Gaya horizontal (ton)  
 $L$  = Lengan momen (m)  
 $f$  = Koefisien gesek dasar main dam  
 $v$  = Faktor koreksi sesuai dengan jenis tanah  
 $z$  = Faktor yang tergantung pada letak geografis  
 $g$  = Percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ cm}^2/s$   
 $\emptyset$  = Sudut geser dalam ( $^\circ$ )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur yang dibangun guna menghubungkan antara dua jalur terpisah karena adanya hambatan seperti sungai, lembah dan sebagainya. Pada jembatan yang memiliki bentang panjang, biasanya konstruksi di bawah jembatan disertai dengan pilar dan *abutment*. Pilar jembatan sendiri berfungsi untuk menerima beban yang diberikan dan meyalurkannya ke pondasi kemudian diteruskan kembali ke dalam tanah.

Di Indonesia, pembangunan jembatan seringkali belum dilengkapi dengan bangunan pelindungnya, terutama pada jembatan yang dibangun dekat dengan hulu sungai. Padahal, penempatan pilar pada dasar sungai, dapat menyebabkan perubahan pola pada aliran sungai itu sendiri. Hal ini disebabkan karena butiran partikel padat yang terbawa pada aliran sungai dapat menggerus pilar dan *abutment* yang berada pada sungai. Dampak dari gerusan ini dapat membahayakan stabilitas jembatan yang pada akhirnya mengakibatkan kegagalan struktur.

Kasus kegagalan struktur jembatan yang mengakibatkan runtuhnya jembatan banyak dijumpai di wilayah sekitar, seperti yang terjadi pada Jembatan Blongkeng di Sungai Blongkeng, Kabupaten Magelang pada tahun 2017. Jembatan ini belum memiliki bangunan pengaman, sehingga ketika hujan lebat yang berdampak meningkatnya laju aliran sungai menyebabkan terjadinya gerusan lokal pada sekitar pilar dan *abutment* sebelum pada akhirnya runtuh. Keadaan ini dapat diatasi dengan pembangunan *ground sill*.

*Groundsill* adalah bangunan yang melintang sungai dan berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran pada sungai serta menjaga stabilitas sungai akibat gerusan lokal. Bangunan ini pada dasarnya membantu mempertahankan elevasi dasar sungai agar gerusan secara terus-menerus pada pilar tidak merubah dasar sungai menjadi naik ataupun turun.

Bangunan *groundsill* dapat ditemui pada daerah selatan Jawa, seperti yang terdapat pada Jembatan Kebonagung di Sungai Progo dan Jembatan Kretek di Sungai Opak. *Groundsill* dibangun dengan tujuan sebagai pengaman jembatan untuk mencegah degradasi yang mempengaruhi kekuatan pondasi untuk menopang jembatan.

Namun faktanya, jembatan yang sudah diberi pengaman *groundsill* juga masih harus ditinjau ulang guna memenuhi fungsi utama dari bangunan tersebut. Apabila aliran sungai cukup deras hingga bangunan pengaman tidak cukup mampu menahan laju aliran, tubuh *groundsill* dapat ikut tergerus dan dapat mengancam kestabilan bangunan itu sendiri. Terlebih jika jembatan belum memiliki bangunan pengaman.

Penelitian ini dimaksudkan sebagai referensi pembuatan bangunan *groundsill* sebagai pelindung jembatan pada ruas-ruas sungai yang ada di Kota Semarang, terutama yang dekat dengan bagian hulu. Salah satu bangunan jembatan yang berada di area Tinjomoyo, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang, menjadi akses menuju hutan wisata melintang pada Sungai Garang. Sungai Garang termasuk sungai terbesar di Kota Semarang. Sungai dengan luas DAS sebesar 240 km<sup>2</sup> ini dicirikan dengan debit aliran sungai yang besar dan cepat (*fast flood*). Hal ini tentu saja dapat menimbulkan masalah erosi pada sungai.



Permasalahan gerusan terhadap pilar dan *abutment* harus dapat dideteksi sedini mungkin sebagai pencegahan kegagalan struktur. Seperti yang telah diamati oleh penulis, dimana mulai terlihat adanya bekas gerusan lokal disekitar pilar jembatan. Jika gerusan ini dibiarkan semakin dalam maka dasar sungai akan rentan terhadap erosi yang nantinya mengancam kekuatan struktur jembatan.

Pembangunan *groundsill* dalam rangka upaya pengendalian gerusan terhadap pilar menjadi pilihan yang perlu dilakukan, meskipun dampak gerusan lokal belum sepenuhnya merusak struktur. Dengan pengendalian gerusan melalui bangunan *groundsill*, maka kecepatan laju aliran Sungai Garang yang melintasi pilar dapat berkurang, sehingga angkutan sedimen yang terbawa tidak merusak pilar jembatan.

Adanya kasus jembatan runtuh seperti yang telah diuraikan, diharapkan dapat dijadikan bekal pembelajaran dalam rangka pencegahan hal serupa pada daerah lainnya. Diharapkan pula bangunan pelindung *groundsill* yang direncanakan pada area Tinjomoyo, dapat melindungi dan meminimalisir terjadinya gerusan lokal serta mencegah terjadinya erosi pada dasar sungai sendiri.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka identifikasi masalah disusun sebagai berikut :

- a. Banyak bangunan jembatan yang belum dilengkapi dengan bangunan pelindung sungai;
- b. Mulai terlihat jejak gerusan lokal di sekitar pilar Jembatan Tinjomoyo di Sungai Garang;
- c. Pembuatan *groundsill* menjadi pilihan dalam mencegah kegagalan struktur.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah disusun sebagai berikut, yaitu :

- a. Pembatasan data curah hujan yang dipakai menggunakan 3 stasiun hujan, terdiri dari Sta. Simongan, Sta. Gunungpati, dan Sta. Sumurjurang dengan data curah hujan selama 16 tahun (2003-2018);
- b. Analisis debit banjir rancangan digunakan metode HSS *Nakayasu*;
- c. Pada *groundsill* dilakukan kontrol stabilitas yang ditinjau terhadap bahaya guling, bahaya geser, rembesan (*piping*), dan daya dukung tanah.

### 1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah disusun sebagai berikut, yaitu :

- a. Bagaimana analisis curah hujan di DAS Garang Jembatan Tinjomoyo pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT dengan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun?
- b. Bagaimana analisis debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun dengan metode HSS *Nakayasu*?
- c. Bagaimana analisis dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Tinjomoyo DAS Garang pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT ?
- d. Bagaimana stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, geser, rembesan (*piping*), dan terhadap faktor daya dukung tanah?

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini disusun sebagai berikut, yaitu :

- a. Menganalisis curah hujan di DAS Garang Jembatan Tinjomoyo pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT dengan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun;
- b. Menganalisis debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun dengan menggunakan HSS *Nakayasu*;
- c. Menganalisis dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Tinjomoyo Sungai Garang pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT;
- d. Menganalisis stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, geser, rembesan (*piping*), dan terhadap faktor daya dukung tanah.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat praktik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagi peneliti, mengetahui analisis perencanaan *groundsill* dan kontrol stabilitasnya terhadap bahaya guling, geser, rembesan (*piping*), dan faktor daya dukung tanah;
- b. Bagi mahasiswa, mengetahui manfaat penerapan bangunan *groundsill* terhadap lingkungan dan bangunan lain;
- c. Bagi perguruan tinggi, menambah hasil data penelitian mengenai analisis banjir rancangan dengan metode HSS *Nakayasu* dan terapannya dalam perencanaan *groundsill*;
- d. Bagi khalayak umum, dapat menerapkan analisis hidrologi dengan metode HSS *Nakayasu* dalam perencanaan bangunan air.

Manfaat teoritik dari penelitian ini adalah untuk mendukung konsep pembangunan *groundsill* di sungai-sungai Indonesia seperti yang di kemukakan

oleh Suparman, M.E, dkk (2008) bahwa bangunan pengendali sungai pertama kali dikenalkan oleh Mr. Tomoaki Yokota tahun 1970 dalam rangka menangani permasalahan banjir lahar di daerah vulkanik, sebagaimana tercantum pada buku Sabo Untuk Penanggulangan Bencana Akibat Aliran Sedimen.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Penulisan karya tulis ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu :

#### **I. BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang latar belakang penelitian, identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan karya tulis.

#### **II. BAB II KAJIAN PUSTAKA**

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang hasil kajian pustaka yang mengacu pada penelitian serta landasan teori meliputi *groundsill*, hujan, Daerah Aliran Sungai (DAS), analisis hidrologi, analisis frekuensi dan probabilitas, uji kecocokan data, analisis intensitas hujan, debit banjir rancangan, analisis dimensi *groundsill*, analisis gaya-gaya yang bekerja, serta analisis stabilitas *groundsill*.

#### **III. BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang metode penelitian yang dipakai, lokasi penelitian, alat dan bahan, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, dan prosedur penelitian.

#### **IV. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini penulis menjelaskan secara rinci tentang hasil perhitungan analisis data serta pembahasannya.

## V. BAB V PENUTUP

Pada bab ini penulis menjelaskan simpulan dari hasil analisis data serta memberikan saran-saran yang diperlukan dalam karya tulis ini

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian yang merujuk mengenai perencanaan bangunan *groundsill* dalam rangka untuk menstabilkan dasar sungai dan menahan laju erosi, telah banyak dikembangkan di Indonesia. Salah satu penelitian mengenai perencanaan *groundsill* yang dilakukan oleh Ika Sari Damayanthi Sebayang dan Tiara Rosa Andina (2019) berlokasi di Sungai Ulu Gadut, Sumatera Barat. Berikut disajikan hasil perencanaannya :

**Tabel 2.1** Hasil Perencanaan *Groundsill* di Sungai Ulu

| Hasil Dimensi Hidrolis           |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Elevasi dasar sungai             | 336.58 m                  |
| Q50                              | 173.657 m <sup>3</sup> /s |
| Be                               | 19.5 m                    |
| Tinggi mercu (P)                 | 1.5 m                     |
| Jenis mercu                      | Mercu <i>Ogee</i>         |
| H1 (Tinggi energi di atas mercu) | 2.5 m                     |
| Hd (Tinggi air di atas mercu)    | 1.857 m                   |
| Tinggi muka hulu banjir          | 339.937 m                 |
| Tinggi muka air hilir banjir     | 339.318 m                 |
| Tipe peredam                     | Bak Tenggelam             |
| Tebal kolam olak                 | 1.3 m                     |
| Panjang lantai muka              | 12 m                      |
| Tebal <i>rip rap</i>             | 1.2 m                     |
| Panjang <i>rip rap</i>           | 3.2 m                     |
| <i>Back Water</i>                | 70.77 m                   |

Berdasarkan hasil penelitian, dengan menggunakan metode *Weduwen* sebagai debit periode ulang 50 tahun, didapatkan debit banjir rencana sebesar 173,657 m<sup>3</sup>/s. Setelah analisis hidrologi dilakukan kemudian peneliti melakukan perencanaan

dimensi hidrolis *groundsill* dan didapatkan tinggi muka air di atas mercu 1,857 m, tinggi energi di atas mercu 2,50 m, lebar efektif *groundsill* (Be) adalah 1,95 m, tebal lantai kolam olak 1,30 m, panjang lantai muka rencana *groundsill* 12 m serta *back water* sepanjang 70,77 m.

**Tabel 2.2** Hasil Kontrol Stabilitas *Groundsill* di Sungai Ulu

| Kondisi         | Stabilitas          | Syarat  | Hasil        |
|-----------------|---------------------|---|--------------|
| Muka Air Normal | Guling              | $SF \geq 1.50$                                      | 2,63         |
|                 | Geser               | $SF \geq 1.50$                                      | 2,14         |
|                 | Daya dukung tanah : |   |              |
|                 | – Eksentrisitas     | $e < 1/6 \cdot L$                                   | -0,98        |
|                 | – Tekanan tanah     | $\sigma_{min} > 0$<br>$\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 1,13<br>1,13 |
| Muka Air Banjir | Guling              | $SF \geq 1.25$                                      | 4,05         |
|                 | Geser               | $SF \geq 1.25$                                      | 6,90         |
|                 | Daya dukung tanah : |   |              |
|                 | – Eksentrisitas     | $e < 1/6 \cdot L$                                   | -0,40        |
|                 | – Tekanan tanah     | $\sigma_{min} > 0$<br>$\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 5,13<br>9,42 |

Peneliti juga melakukan analisis stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, geser, dan faktor daya dukung tanah yang telah dibuktikan bahwa hasil perencanaan tersebut aman terhadap bahaya-bahaya yang disebutkan atau dapat dikatakan memenuhi syarat yang telah ditetapkan.

Penelitian mengenai perencanaan bangunan *groundsill* juga telah dilakukan oleh Damianus Dai Tukan dan Suhudi (2018). Pada penelitian ini, *groundsill* direncanakan pada hilir Bendung Waikomo, Nusa Tenggara Timur. Adapun hasil penelitiannya dijabarkan sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Hasil Perencanaan *Groundsill* di Hilir Bendung Waikomo

| Hasil Dimensi <i>Groundsill</i> |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| Jarak bendung                   | 75 m                |
| Lebar                           | 30 m                |
| Panjang                         | 4,61 m              |
| Tinggi                          | 1,5 m               |
| Kedalaman pondasi               | 0,5 m               |
| Tipe peredam energi             | Kolam olak tipe III |

Pada analisa debit banjir rencana dengan periode ulang 50 tahun, diperoleh debit rencana sebesar 39,999 m<sup>3</sup>/s. Kemudian direncanakan dimensi bangunannya, didapatkan lebar *groundsill* 30 m dengan tinggi 1,5 m dan panjang 4,61 m. Penentuan bangunan peredam energi menggunakan kolam olak type III berdasarkan hasil hitungan bilangan *Froude*, yaitu 3,413.

Kemudian dilakukan pula kontrol terhadap stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, geser, dan faktor daya dukung tanah yang ditinjau dengan dua keadaan, yaitu apabila terjadi dan tidak terjadi gempa.



**Tabel 2.4** Hasil Kontrol Stabilitas *Groundsill* di Hilir Bendung Waikomo

| Kondisi         | Stabilitas          | Syarat                        |                               | Hasil  |           |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|-----------|
|                 |                     | Gempa                         | Non Gempa                     | Gempa  | Non Gempa |
| Muka Air Normal | Guling              | $SF \geq 1.20$                | $SF \geq 1.50$                | 11.053 | 17.546    |
|                 | Geser               | $SF \geq 1.20$                | $SF \geq 1.50$                | 4.267  | 11.300    |
|                 | Daya dukung tanah : |                               |                               |        |           |
|                 | – Eksentrisitas     | $e < 1/6 \cdot L$             | $e < 1/6 \cdot L$             | 0.404  | 0.717     |
|                 | – Tekanan tanah     | $\sigma_{min} > 0$            | $\sigma_{min} > 0$            | 0,635  | 0,086     |
|                 |                     | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 2.046  | 2.509     |
| Muka Air Banjir | Guling              | $SF \geq 1.20$                | $SF \geq 1.50$                | 6.549  | 8.283     |
|                 | Geser               | $SF \geq 1.20$                | $SF \geq 1.50$                | 5,79   | 6.726     |
|                 | Daya dukung tanah : |                               |                               |        |           |
|                 | – Eksentrisitas     | $e < 1/6 \cdot L$             | $e < 1/6 \cdot L$             | -0,355 | -0,254    |
|                 | – Tekanan tanah     | $\sigma_{min} > 0$            | $\sigma_{min} > 0$            | 0,741  | 2.078     |
|                 |                     | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 0,905  | 1.046     |

Hasil kontrol stabilitas pada penelitian tersebut, dapat dilihat dimensi hidrolis *groundsill* yang direncanakan telah memenuhi persyaratan terhadap bahaya-bahaya guling, geser dan faktor daya dukung tanah.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Ichwan Rachmat Putra, dkk (2015) yang berlokasi di Sungai Senjoyo, Kabupaten Semarang. Hasil perencanaan dimensi hidrolis bangunan *groundsill*, dijabarkan sebagai berikut :

**Tabel 2.5** Hasil Perencanaan *Groundsill* di Sungai Senjoyo

| Hasil Dimensi Hidrolis   |                   |
|--------------------------|-------------------|
| Tipe <i>groundsill</i>   | Tipe tegak lurus  |
| Tinggi <i>groundsill</i> | 2 m               |
| Lebar <i>groundsill</i>  | 62 m              |
| Tipe mercu               | Mercu pelimpah    |
| Jari-jari mercu          | 1,2 m             |
| Tipe kolam olak          | Tipe ambang ujung |
| Panjang kolam olak       | 16 m              |

Hasil perhitungan berdasarkan perolehan debit banjir rencana sebesar 698,12 m<sup>3</sup>/s dengan menggunakan metode *Haspers* dengan kala ulang 100 tahun. Kemudian didapatkan lebar *groundsill* 62 m, tinggi 2 m dan jari-jari selebar 1,2 m. Penentuan kolam olak berdasarkan bilangan *Froude* yang dihitung yaitu sebesar  $2,457 \geq 1,7$  yang berarti kolam olak yang dibutuhkan adalah tipe ambang ujung dengan panjang 16 m.

Pada penelitian ini, selain dilakukan kontrol terhadap bahaya-bahaya rembesan (*piping*), guling, geser dan faktor daya dukung tanah, dilakukan juga analisis stabilitas lereng pada sungai yang telah dinormalisasi akibat adanya *groundsill* yang membuat kenaikan muka air. Analisis ini memperoleh SF sebesar  $1,56 > 1$  yang berarti lereng aman terhadap baya longsor.

Perencanaan *groundsill* lainnya dilakukan oleh Anand Wijaya Tungga (2018) berlokasi di Sungai Tinga-Tinga, Bali dengan menggunakan program HEC-RAS. Hasil dimensi hidrolis *groundsill* adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Hasil Perencanaan *Groundsill* di Sungai Tinga-Tinga

| Hasil Dimensi Hidrolis |       |
|------------------------|-------|
| Tinggi <i>main dam</i> | 14 m  |
| Lebar <i>main dam</i>  | 1,5 m |
| Lebar pelimpah         | 1,5 m |
| Panjang kolam olak     | 9 m   |
| Tebal kolam olak       | 0,5 m |
| Tinggi <i>sub-dam</i>  | 0,6 m |
| Lebar <i>sub-dam</i>   | 1 m   |
| Kedalaman pondasi      | 1,5 m |

Hasil dari perencanaan *groundsill* ini didasarkan oleh perhitungan debit banjir rencana yaitu sebesar 23,966 m<sup>3</sup>/s dengan periode ulang selama 25 tahun. Bangunan *groundsill* ditempatkan pada bagian hilir jembatan Tinga-Tinga pada jarak 20 m.

Kontrol stabilitas *groundsill* digunakan 6 variasi keadaan, yaitu saat kondisi normal dan kosong, kondisi kosong dan gempa, kondisi penuh air dan normal, kondisi penuh air dan gempa, kondisi banjir dan normal, serta kondisi banjir dan gempa. Hasil dari kontrol stabilitas *groundsill* dijabarkan pada tabel berikut :

**Tabel 2.7** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Normal dan Kosong

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Normal dan Kosong |                               |        |
|--|-------------------------------|--------|
| Guling   | $SF \geq 1.50$                | 10.102 |
| Geser  | $SF \geq 1.50$                | 1.942  |
| Daya dukung tanah :                                    |                               |        |
| – Eksentrisitas  | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,418  |
| – Tekanan tanah  | $\sigma_{min} > 0$            | 1.251  |
|  | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 6.781  |

**Tabel 2.8** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Kosong dan Gempa

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Kosong dan Gempa |                               |       |
|---|-------------------------------|-------|
| Guling  | $SF \geq 1.50$                | 8.721 |
| Geser   | $SF \geq 1.50$                | 2.611 |
| Daya dukung tanah :                                   |                               |       |
| – Eksentrisitas                                       | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,443 |
| – Tekanan tanah                                       | $\sigma_{min} > 0$            | 1.925 |
|   | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 6.107 |

**Tabel 2.9** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Penuh Air dan Normal

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Penuh Air dan Normal |                               |       |
|---|-------------------------------|-------|
| Guling  | $SF \geq 1.50$                | 13,68 |
| Geser   | $SF \geq 1.50$                | 7.616 |
| Daya dukung tanah :                                       |                               |       |
| – Eksentrisitas   | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,378 |
| – Tekanan tanah   | $\sigma_{min} > 0$            | 1.518 |
|   | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 6.515 |

**Tabel 2.10** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Penuh Air dan Gempa

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Penuh Air dan Gempa |                               |       |
|--|-------------------------------|-------|
| Guling   | $SF \geq 1.50$                | 4.774 |
| Geser  | $SF \geq 1.50$                | 3.858 |
| Daya dukung tanah :                                      |                               |       |
| – Eksentrisitas  | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,591 |
| – Tekanan tanah  | $\sigma_{min} > 0$            | 0,113 |
|  | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 7.919 |

**Tabel 2.11** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Banjir dan Normal

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Banjir dan Normal |                               |        |
|--|-------------------------------|--------|
| Guling   | $SF \geq 1.50$                | 10.574 |
| Geser  | $SF \geq 1.50$                | 2.803  |
| Daya dukung tanah :                                    |                               |        |
| – Eksentrisitas  | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,487  |
| – Tekanan tanah  | $\sigma_{min} > 0$            | 1.088  |
|  | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 9.827  |

**Tabel 2.12** Kontrol Stabilitas *Groundsill* Kondisi Banjir dan Gempa

| Stabilitas <i>Groundsill</i> Kondisi Banjir dan Gempa |                               |       |
|---|-------------------------------|-------|
| Guling  | $SF \geq 1.50$                | 4.596 |
| Geser   | $SF \geq 1.50$                | 5.491 |
| Daya dukung tanah :                                   |                               |       |
| – Eksentrisitas                                       | $e < 1/6 \cdot L$             | 0,404 |
| – Tekanan tanah                                       | $\sigma_{min} > 0$            | 1.890 |
|   | $\sigma_{max} < \sigma_{ult}$ | 9.395 |

Berdasarkan uraian tabel diatas, maka dapat dikatakan stabilitas *groundsill* aman terhadap bahaya-bahaya tersebut atau memenuhi persyaratan dimana ditinjau dalam 6 keadaan yaitu, saat kondisi normal dan kosong, kondisi kosong dan gempa, kondisi penuh air dan normal, kondisi penuh air dan gempa, kondisi banjir dan normal, serta kondisi banjir dan gempa.

Penelitian mengenai perencanaan *ground sill* juga dilakukan oleh Sarsin (2012), namun penelitian ini lebih fokus untuk meninjau ulang stabilitas *ground sill* yang telah dibangun pada Bantar Sungai Progo, Kabupaten Bantul.

Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode Bundchu, sehingga diperoleh hasil  $Q = 1359,11 \text{ m}^3/\text{s}$ . Keamanan terhadap rembesan (*piping*) ditentukan dengan persamaan *Lane* dan didapatkan nilai WCR (*Weighted Creep Ratio*) adalah  $20,7 > 7$  (nilai WCR untuk jenis tanah pasir halus), yang artinya *ground sill* aman terhadap bahaya rembesan.

Keamanan terhadap bahaya guling ditunjukkan dengan hasil  $SF \geq 1,50$ , sedangkan hasil penelitian didapatkan SF sebesar 1,56 maka *ground sill* dianggap aman terhadap bahaya tersebut. Pengecekan terhadap bahaya geser juga ditentukan dengan syarat  $SF \geq 1,50$ , pada hasil perhitungan diperoleh SF sebesar 12. Dengan demikian *ground sill* teruji aman terhadap bahaya geser.

Terakhir pengecekan terhadap faktor daya dukung tanah, persyaratan yang harus dipenuhi adalah apabila  $\sigma_{maks} < \sigma_{izin}$  dan  $\sigma_{min} > 0$ . Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh  $\sigma_{maks}$  sebesar  $76,68 \text{ kN/m}^2$  dengan  $\sigma_{izin}$  sebesar  $5442,6 \text{ KN/m}^2$ , sedangkan  $\sigma_{min}$  diperoleh sebesar  $19,73 \text{ kN/m}^2$ . Maka *ground sill* Bantar Sungai Progo, dapat dikatakan aman terhadap bahaya-bahaya rembesan, geser, guling dan faktor daya dukung tanah.

Sedangkan penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada jurnal-jurnal, skripsi, dan modul yang disebutkan dimana terdapat sedikit perbedaan yaitu pada lokasi penelitian yang berada pada hilir Jembatan Timjomoyo Semarang. Desain

*groundsill* nantinya juga akan ditinjau stabilitasnya terhadap bahaya guling, geser, rembesan (*piping*), dan faktor daya dukung tanah.

## **2.2 Landasan Teori**

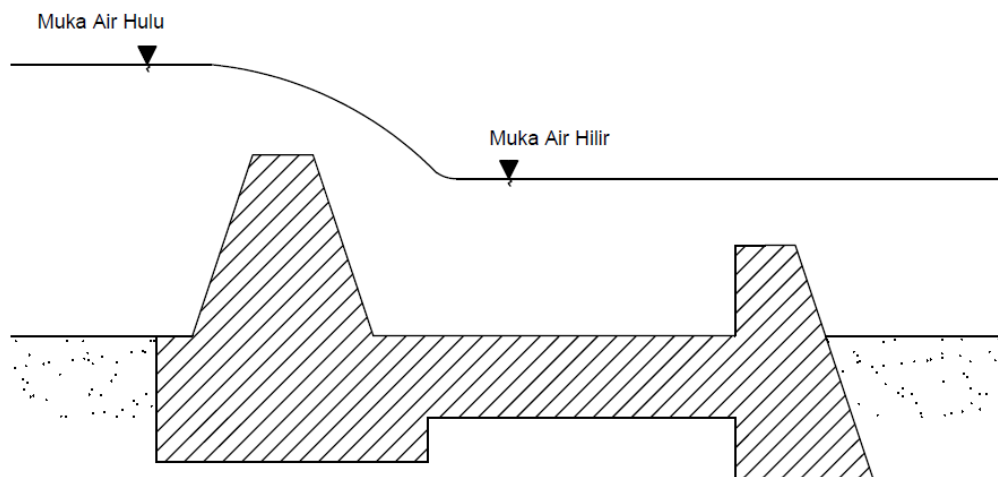
### **2.2.1 *Groundsill***

*Groundsill* adalah bangunan melintang pada sungai yang berfungsi mengendalikan stabilitas sungai untuk mengurangi degradasi dengan cara meninggikan elevasi muka air sungai. *groundsill* banyak ditemui pada sungai bagian hulu yang alirannya cukup deras.

Berbeda dengan fungsi bendung dimana air dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti irigasi, *groundsill* difungsikan untuk mengatasi kerusakan dasar sungai akibat perubahan kecepatan debit aliran agar dapat melindungi bangunan air lainnya seperti pilar jembatan sehingga kegagalan konstruksi dapat dicegah.

Umumnya, beberapa bangunan *groundsill* dibangun dengan posisi mercu yang tidak jauh dari dasar sungai. Namun, ada juga *groundsill* yang memiliki posisi mercu jauh di atas dasar sungai. Hal ini dimaksudkan untuk menaikan dasar sungai pada keadaan sebelumnya.

Desain *groundsill* harus dibuat dengan perencanaan secara matang supaya bangunan berfungsi secara efisien. Kontrol terhadap bahaya seperti guling, geser, rembesan dan faktor daya dukung tanah juga perlu dilakukan agar desain *groundsill* teruji aman terhadap bahaya-bahaya tersebut.



**Gambar 2.1** Potongan Memanjang *Groundsill*

### 2.2.2 Hujan

Hujan merupakan kumpulan uap air yang jatuh ke bumi dalam bentuk butir-butir air yang sebelumnya telah mengalami peristiwa kondensasi akibat adanya evaporasi dan transpirasi. Sebagian hujan yang jatuh akan terserap ke dalam tanah, sementara bagian lain yang tidak terserap mengalir pada sungai. Hal ini disebut aliran atau limpasan permukaan (Suripin, 2004).

Curah hujan yang turun diukur berdasarkan kurun waktu jam-jaman, harian, mingguan, bulanan dan tahunan dimana dinyatakan dengan satuan mm/jam. Pengukuran curah hujan dilakukan oleh stasiun hujan menggunakan alat penakar hujan manual maupun penakar hujan otomatis.

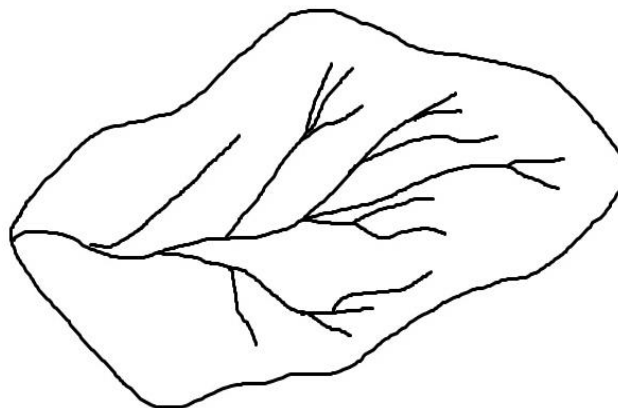
Data curah hujan menjadi faktor yang terpenting dalam analisis hidrologi karena memerlukan data curah hujan dalam jangka waktu yang panjang, misalnya adalah kurun waktu 10 tahun. Data hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi berasal dari stasiun hujan yang terdekat dengan objek penelitian.

### 2.2.3 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang termasuk sungai di dalamnya, dimana hujan turun di wilayah tersebut mengalir ke danau atau laut secara alami dengan dibatasi oleh batas-batas topografi tertentu. Daerah Aliran Sungai (DAS) ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi garis-garis kontur (Bambang Triatmodjo, 2008).

Tata guna lahan pada DAS artinya pemanfaatan lahan dalam rangka pengelolaan sumber daya air. Tata guna lahan harus dikelola secara baik supaya tujuan pemanfaatan sumber daya air secara maksimum dan berkelanjutan untuk kepentingan manusia dapat terwujud.

Luas DAS menjadi faktor kedua yang penting dalam analisi hidrologi, karena luasan ini digunakan sebagai parameter dalam perhitungan hujan wilayah dan mencari debit banjir rencana. Luas DAS dapat diketahui melalui *software* maupun melalui badan resmi milik pemerintah.



**Gambar 2.2** Daerah Aliran Sungai

#### **2.2.4 Analisis Hidrologi**

Perencanaan bangunan pelindung *groundsill* diperlukan analisis hidrologi seperti yang dilakukan dalam perencanaan bangunan-bangunan air lainnya. Data



hujan yang diperoleh dari stasiun curah hujan menjadi keperluan dasar yang dibutuhkan dalam perhitungan. Analisis hidrologi nantinya akan menghasilkan hujan periode ulang serta debit banjir rencana yang digunakan untuk mendesain bangunan pelindung *ground sill*.

#### 2.2.4.1 Hujan Kawasan

Hujan kawasan merupakan curah hujan yang turun disekitar wilayah atau kawasan tertentu. Dalam perencanaan bangunan air tidak hanya memerlukan data curah hujan pada satu titik saja, namun data yang diperlukan merupakan data rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun hujan yang ada di kawasan tersebut

Perhitungan curah hujan kawasan dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu :

##### a. Metode Aljabar

Metode Aljabar digunakan untuk wilayah yang memiliki topografi cenderung datar atau rata. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana karena hanya menjumlahkan curah hujan dan membagi dengan jumlah stasiun hujan yang ada.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$\bar{P}$  = Curah hujan rata-rata kawasan

$P_1$  = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

$N$  = Jumlah stasiun hujan

##### b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode Polygon Thiessen digunakan apabila sebaran pos-pos atau stasiun hujan pada daerah yang diinginkan tidak merata dan menggunakan setidaknya 3 stasiun hujan dengan sudah diketahui koordinat stasiun hujannya. Metode ini dikenal juga dengan metode rata-rata timbang atau *weighted mean* (Suripin, 2004).

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- 1) Tentukan pos-pos hujan yang ingin ditinjau;
- 2) Tentukan hujan maksimum dari masing-masing pos hujan;
- 3) Masukkan koordinat pos-pos hujan pada peta beserta letaknya dengan sesuai;
- 4) Buatlah garis tegak lurus di tengah tiap-tiap garis hingga membentuk *Polygon Thiessen*;
- 5) Hitung luas areal yang mewakili tiap pos hujan;
- 6) Hitung hujan rata-rata kawasan menggunakan rumus:

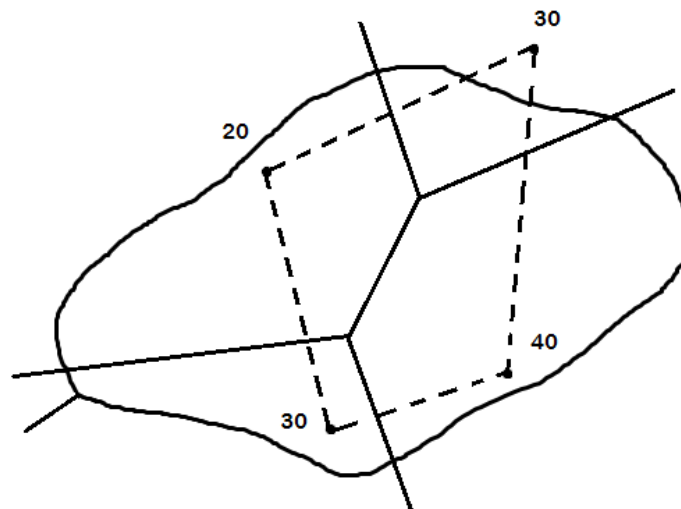
$$\bar{P} = \frac{A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + \dots + A_nX_n}{A_1 + A_1 + A_1 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\bar{P}$  = Curah hujan rata-rata kawasan

$X_1$  = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

$A_1$  = Luas daerah mewakili pos hujan



**Gambar 2.3** *Polygon Thiessen*

c. Metode Isohyet

Metode ini dianggap sebagai metode paling akurat karena memperhitungkan pengaruh tiap stasiun hujan dalam menentukan curah hujan rata-rata. Isohyet berarti titik-titik kedalaman hujan yang dihubungkan dengan garis. Metode Isohyet cocok untuk daerah berbukit dengan luas lebih dari 5000 km<sup>2</sup> (Suripin, 2004).

$$\bar{P} = \frac{\sum \left[ A \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$\bar{P}$  = Curah hujan rata-rata kawasan

$P_1$  = Curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan

$A$  = Luas area

### 2.2.5 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Curah hujan rata-rata yang telah didapat kemudian dianalisis secara statistik guna mengetahui pola distribusi sebaran datanya. Hal ini dikarenakan data hujan yang diperoleh diasumsikan bersifat stokastik dan terdistribusi secara acak. Analisa frekuensi didasarkan pada data hujan yang telah terjadi dengan tujuan untuk memperoleh kemungkinan terjadinya hujan pada waktu yang akan datang.

Terdapat beberapa parameter yang diperlukan dalam analisis statistik untuk mencari pola distribusi yang akan digunakan. Parameter-parameter yang dicari adalah, sebagai berikut :

a. Rata-rata

Nilai rata-rata merupakan suatu nilai yang mewakili dari keseluruhan nilai pada sejumlah data yang ada. Nilai rata-rata dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.4)$$

Keterangan :

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

b. Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengetahui penyebaran nilai sampel terhadap rata-rata. Apabila nilai standar deviasi semakin besar, maka semakin besar pula penyebaran distribusinya. Nilai standar deviasi dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

S = Standar deviasi

$X_i$  = Nilai varian data

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

c. Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

Koefisien kemencengan adalah nilai yang menunjukkan penyimpangan atau ketidaksimetrisan data dalam suatu distribusi, dimana dirumuskan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

$$CS = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (2.6)$$

Keterangan :

CS = Koefisien kemencengan

$X_i$  = Nilai varian data

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

S = Standar deviasi

d. Koefisien Kurtosis

Kurtosis adalah puncak dari distribusi. Perhitungan koefisien kurtosis bertujuan untuk mengukur ketinggian puncak dari kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Suripin, 2004) :

$$CK = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (2.7)$$

Keterangan :

CK = Koefisien kurtosis

$X_i$  = Nilai varian data

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

S = Standar deviasi

#### e. Koefisien Variasi

Koefisien variasi merupakan perbandingan antara nilai standar deviasi dengan nilai rata-rata, yang dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

CV = Koefisien variasi

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

S = Standar deviasi

Pada bidang hidrologi, terdapat empat jenis distribusi yang dikenal dan sering digunakan dalam perhitungan, diantaranya adalah distribusi normal, distribusi log normal, distribusi *log-pearson* III dan distribusi gumbel.

#### 2.2.5.1 Distribusi Normal

Perhitungan periode ulang hujan menggunakan distribusi normal, dipengaruhi oleh faktor frekuensi yang merupakan nilai dari variabel reduksi *Gauss*. Distribusi normal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (2.9)$$

Keterangan :

$X_T$  = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor frekuensi,

**Tabel 2.13** Variabel Reduksi *Gauss* (Soewarno, 1995)

| Periode Ulang T | Peluang | K     |
|-----------------|---------|-------|
| 1,001           | 0,999   | -3,05 |
| 1,005           | 0,995   | -2,58 |
| 1,010           | 0,990   | -2,33 |
| 1,050           | 0,950   | -1,64 |
| 1,110           | 0,900   | -1,28 |
| 1,250           | 0,800   | -0,84 |
| 1,330           | 0,750   | -0,67 |
| 1,430           | 0,700   | -0,52 |
| 1,670           | 0,600   | -0,25 |
| 2,000           | 0,500   | 0     |
| 2,500           | 0,400   | 0,25  |
| 3,330           | 0,300   | 0,52  |
| 4,000           | 0,250   | 0,67  |
| 5,000           | 0,200   | 0,84  |
| 10,000          | 0,100   | 1,28  |
| 20,000          | 0,050   | 1,64  |
| 50,000          | 0,020   | 2,05  |
| 100,000         | 0,010   | 2,33  |
| 200,000         | 0,005   | 2,58  |
| 500,000         | 0,002   | 2,88  |
| 1,000,000       | 0,001   | 3,09  |

### 2.2.5.2 Distribusi *Log Normal*

Distribusi log normal dituliskan dalam bentuk logaritma, dimana metode ini mirip dengan distribusi normal. Apabila  $Y = \text{Log } X$ , maka persamaan untuk menghitung distribusi log normal adalah sebagai berikut :

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \quad (2.10)$$

Keterangan :

$Y_T$  = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T

$\bar{Y}$  = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

$K_T$  = Faktor frekuensi,

### 2.2.5.3 Distribusi *Log-Pearson III*

Perhitungan distribusi *log-pearson III* juga menggunakan nilai logaritma, namun metode ini dipengaruhi oleh nilai k, yang besarnya tergantung oleh koefisien kemencengan G. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut (Suripin, 2004) :

- a. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis,  $X = \text{Log } X$
- b. Hitung rata-rata menggunakan rumus 2.4
- c. Hitung standar deviasi menggunakan rumus 2.5
- d. Hitung koefisien kemencengan menggunakan rumus 2.6
- e. Hitung logaritma hujan atau banjir periode ulang T dengan rumus :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S \quad (2.11)$$

- f. Hitung curah hujan rencana periode ulang T dengan rumus :

$$X_T = \text{antilog } X_T \quad (2.12)$$



**Tabel 2.14** Nilai K untuk Distribusi *Log-Pearson* III (Triatmodjo, 2008)

| Cs   | Probabilitas Terjadi (%) |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 99                       | 95    | 90    | 80    | 50    | 20   | 10   | 4    | 2    | 1    | 1    | 0,2  | 0,1  |
|      | Kala Ulang               |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      | 1,01                     | 1,05  | 1,11  | 1,25  | 2     | 5    | 10   | 25   | 50   | 100  | 200  | 500  | 1000 |
| -3.0 | -4,05                    | -2,00 | -1,18 | -0,42 | 0,40  | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| -2.9 | -4,01                    | -2,01 | -1,20 | -0,44 | 0,39  | 0,65 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |
| -2.8 | -3,97                    | -2,01 | -1,21 | -0,46 | 0,38  | 0,67 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,72 |
| -2.7 | -3,93                    | -2,01 | -1,22 | -0,48 | 0,38  | 0,68 | 0,72 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| -2.6 | -3,89                    | -2,01 | -1,24 | -0,50 | 0,37  | 0,70 | 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| -2.5 | -3,85                    | -2,01 | -1,25 | -0,52 | 0,36  | 0,71 | 0,77 | 0,79 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| -2.4 | -3,80                    | -2,01 | -1,26 | -0,54 | 0,35  | 0,73 | 0,80 | 0,82 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,84 |
| -2.3 | -3,75                    | -2,01 | -1,27 | -0,56 | 0,34  | 0,74 | 0,82 | 0,86 | 0,86 | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,87 |
| -2.2 | -3,71                    | -2,01 | -1,28 | -0,57 | 0,33  | 0,75 | 0,84 | 0,89 | 0,90 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| -2.1 | -3,66                    | -2,00 | -1,29 | -0,59 | 0,32  | 0,77 | 0,87 | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| -2.0 | -3,61                    | -2,00 | -1,30 | -0,61 | 0,31  | 0,78 | 0,90 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| -1.9 | -3,55                    | -1,99 | -1,31 | -0,62 | 0,29  | 0,79 | 0,92 | 1,00 | 1,02 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,06 |
| -1.8 | -3,50                    | -1,98 | -1,32 | -0,64 | 0,28  | 0,80 | 0,95 | 1,04 | 1,07 | 1,09 | 1,10 | 1,11 | 1,13 |
| -1.7 | -3,44                    | -1,97 | -1,32 | -0,66 | 0,27  | 0,81 | 0,97 | 1,08 | 1,12 | 1,14 | 1,16 | 1,17 | 1,20 |
| -1.6 | -3,39                    | -1,96 | -1,33 | -0,68 | 0,25  | 0,82 | 0,99 | 1,12 | 1,17 | 1,20 | 1,22 | 1,24 | 1,28 |
| -1.5 | -3,33                    | -1,95 | -1,33 | -0,69 | 0,24  | 0,83 | 1,02 | 1,16 | 1,22 | 1,26 | 1,28 | 1,32 | 1,37 |
| -1.4 | -3,27                    | -1,94 | -1,34 | -0,71 | 0,23  | 0,83 | 1,04 | 1,20 | 1,27 | 1,32 | 1,35 | 1,39 | 1,47 |
| -1.3 | -3,21                    | -1,93 | -1,34 | -0,72 | 0,21  | 0,84 | 1,06 | 1,24 | 1,32 | 1,38 | 1,42 | 1,47 | 1,54 |
| -1.2 | -3,15                    | -1,91 | -1,34 | -0,73 | 0,20  | 0,84 | 1,09 | 1,28 | 1,38 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,63 |
| -1.1 | -3,09                    | -1,89 | -1,34 | -0,75 | 0,18  | 0,85 | 1,11 | 1,32 | 1,44 | 1,52 | 1,58 | 1,63 | 1,71 |
| -1.0 | -3,02                    | -1,88 | -1,34 | -0,76 | 0,16  | 0,85 | 1,13 | 1,37 | 1,49 | 1,59 | 1,66 | 1,72 | 1,80 |
| -0.9 | -2,96                    | -1,86 | -1,34 | -0,77 | 0,15  | 0,85 | 1,15 | 1,41 | 1,55 | 1,66 | 1,75 | 1,81 | 1,91 |
| -0.8 | -2,89                    | -1,84 | -1,34 | -0,78 | 0,13  | 0,86 | 1,17 | 1,45 | 1,61 | 1,73 | 1,84 | 1,91 | 2,04 |
| -0.7 | -2,82                    | -1,82 | -1,33 | -0,79 | 0,12  | 0,86 | 1,18 | 1,45 | 1,66 | 1,81 | 1,93 | 2,01 | 2,15 |
| -0.6 | -2,76                    | -1,80 | -1,33 | -0,80 | 0,10  | 0,86 | 1,20 | 1,53 | 1,72 | 1,88 | 2,02 | 2,11 | 2,28 |
| -0.5 | -2,69                    | -1,74 | -1,32 | -0,81 | 0,08  | 0,86 | 1,22 | 1,57 | 1,78 | 1,96 | 2,11 | 2,22 | 2,40 |
| -0.4 | -2,62                    | -1,75 | -1,32 | -0,82 | 0,07  | 0,86 | 1,23 | 1,61 | 1,83 | 2,03 | 2,20 | 2,33 | 2,54 |
| -0.3 | -2,54                    | -1,73 | -1,31 | -0,82 | 0,05  | 0,85 | 1,25 | 1,64 | 1,89 | 2,10 | 2,29 | 2,44 | 2,68 |
| -0.2 | -2,47                    | -1,70 | -1,30 | -0,83 | 0,03  | 0,85 | 1,26 | 1,68 | 1,95 | 2,18 | 2,39 | 2,55 | 2,81 |
| -0.1 | -2,40                    | -1,67 | -1,29 | -0,84 | 0,02  | 0,85 | 1,27 | 1,72 | 2,00 | 2,25 | 2,48 | 3,03 | 3,95 |
| 0.0  | -2,33                    | -1,65 | -1,28 | -0,84 | 0,00  | 0,84 | 1,28 | 1,75 | 2,05 | 2,33 | 2,58 | 2,77 | 3,09 |
| 0.1  | -2,25                    | -1,62 | -1,27 | -0,85 | -0,02 | 0,84 | 1,29 | 1,79 | 2,11 | 2,40 | 2,67 | 2,88 | 3,24 |
| 0.2  | -2,18                    | -1,59 | -1,26 | -0,85 | -0,03 | 0,83 | 1,30 | 1,82 | 2,16 | 2,47 | 2,76 | 3,62 | 3,38 |
| 0.3  | -2,10                    | -1,56 | -1,25 | -0,85 | -0,05 | 0,82 | 1,31 | 1,85 | 2,21 | 2,54 | 2,86 | 3,11 | 3,53 |
| 0.4  | -2,03                    | -1,52 | -1,23 | -0,86 | -0,07 | 0,82 | 1,32 | 1,88 | 2,26 | 2,52 | 2,95 | 3,22 | 3,67 |

|     |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.5 | -1,96 | -1,49 | -1,22 | -0,86 | -0,08 | 0,81 | 1,32 | 1,91 | 2,31 | 2,69 | 3,04 | 3,33 | 3,82 |
| 0.6 | -1,88 | -1,46 | -1,20 | -0,86 | -0,10 | 0,80 | 1,33 | 1,94 | 2,36 | 2,76 | 3,13 | 3,44 | 3,96 |
| 0.7 | -1,81 | -1,42 | -1,18 | -0,86 | -0,12 | 0,79 | 1,33 | 1,97 | 2,41 | 2,82 | 3,23 | 3,56 | 4,11 |
| 0.8 | -1,73 | -1,39 | -1,17 | -0,86 | -0,13 | 0,78 | 1,34 | 1,99 | 2,45 | 2,89 | 3,31 | 3,66 | 4,25 |
| 0.9 | -1,66 | -1,35 | -1,15 | -0,85 | -0,15 | 0,77 | 1,34 | 2,02 | 2,50 | 2,96 | 3,40 | 3,77 | 4,40 |
| 1.0 | -1,59 | -1,32 | -1,13 | -0,85 | -0,16 | 0,76 | 1,34 | 2,04 | 2,54 | 3,02 | 3,49 | 3,88 | 4,54 |
| 1.1 | -1,52 | -1,28 | -1,11 | -0,85 | -0,18 | 0,75 | 1,34 | 2,07 | 2,59 | 3,09 | 3,58 | 3,99 | 4,68 |
| 1.2 | -1,45 | -1,24 | -1,09 | -0,84 | -0,20 | 0,73 | 1,34 | 2,09 | 2,63 | 3,15 | 3,66 | 4,10 | 4,82 |
| 1.3 | -1,38 | -1,21 | -1,06 | -0,84 | -0,21 | 0,72 | 1,34 | 2,11 | 2,67 | 3,21 | 3,75 | 4,20 | 4,97 |
| 1.4 | -1,32 | -1,17 | -1,04 | -0,83 | -0,23 | 0,71 | 1,34 | 2,13 | 2,71 | 3,27 | 3,83 | 4,31 | 5,11 |
| 1.5 | -1,26 | -1,13 | -1,02 | -0,83 | -0,24 | 0,69 | 1,33 | 2,15 | 2,74 | 3,33 | 3,91 | 4,41 | 5,25 |
| 1.6 | -1,20 | -1,09 | -0,99 | -0,82 | -0,25 | 0,68 | 1,33 | 2,16 | 2,78 | 3,39 | 3,99 | 4,52 | 5,39 |
| 1.7 | -1,14 | -1,06 | -0,97 | -0,81 | -0,27 | 0,66 | 1,32 | 2,18 | 2,82 | 3,44 | 4,07 | 4,62 | 5,53 |
| 1.8 | -1,09 | -1,02 | -0,95 | -0,80 | -0,28 | 0,64 | 1,32 | 2,19 | 2,85 | 3,50 | 4,15 | 4,71 | 5,66 |
| 1.9 | -1,04 | -0,98 | -0,92 | -0,79 | -0,29 | 0,63 | 1,31 | 2,21 | 2,88 | 3,55 | 4,22 | 4,79 | 5,74 |
| 2.0 | 0,99  | -0,95 | -0,90 | -0,78 | -0,31 | 0,61 | 1,30 | 2,22 | 2,91 | 3,61 | 4,40 | 4,97 | 5,91 |
| 2.1 | -0,95 | -0,91 | -0,87 | -0,77 | -0,32 | 0,59 | 1,29 | 2,23 | 2,94 | 3,66 | 4,37 | 4,89 | 5,75 |
| 2.2 | -0,91 | -0,88 | -0,84 | -0,75 | -0,33 | 0,57 | 1,28 | 2,24 | 2,97 | 3,71 | 4,44 | 5,10 | 6,20 |
| 2.3 | -0,87 | -0,85 | -0,82 | -0,74 | -0,34 | 0,56 | 1,27 | 2,25 | 3,00 | 3,75 | 4,52 | 5,20 | 6,34 |
| 2.4 | -0,83 | -0,82 | -0,80 | -0,73 | -0,35 | 0,54 | 1,26 | 2,26 | 3,02 | 3,80 | 4,58 | 5,29 | 6,47 |
| 2.5 | -0,80 | -0,79 | -0,77 | -0,71 | -0,36 | 0,52 | 1,25 | 2,26 | 3,05 | 3,85 | 4,65 | 5,38 | 6,60 |
| 2.6 | -0,77 | -0,76 | -0,75 | -0,70 | -0,37 | 0,50 | 1,24 | 2,27 | 3,07 | 3,89 | 4,72 | 5,47 | 6,74 |
| 2.7 | -0,74 | -0,74 | -0,72 | -0,68 | -0,38 | 0,48 | 1,22 | 2,27 | 3,09 | 3,93 | 4,78 | 5,56 | 6,87 |
| 2.8 | -0,71 | -0,71 | -0,70 | -0,67 | -0,38 | 0,46 | 1,21 | 2,28 | 3,11 | 3,97 | 4,85 | 5,65 | 7,00 |
| 2.9 | -0,69 | -0,69 | -0,68 | -0,65 | -0,39 | 0,44 | 1,20 | 2,28 | 3,13 | 4,01 | 4,91 | 5,74 | 7,13 |
| 3.0 | -0,67 | -0,67 | -0,66 | -0,64 | -0,40 | 0,42 | 1,18 | 2,28 | 3,15 | 4,02 | 4,97 | 5,83 | 7,25 |
|     | 1,01  | 1,05  | 1,11  | 1,25  | 2     | 5    | 10   | 25   | 50   | 100  | 200  | 500  | 1000 |

#### 2.2.5.4 Distribusi Gumbel

Metode distribusi gumbel dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain, *variable reduced*, *reduced mean*, dan *reduced standard deviasi*. Perhitungan metode ini, mempunyai perumusan sebagai berikut (Suripin, 2004) :

$$X_T = \bar{X} + S \cdot K \quad (2.13)$$

Keterangan :

$X_T$  = Perkiraan nilai dengan periode ulang-T

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

K = Faktor frekuensi

Faktor frekuensi K pada metode distribusi *gumbel*, menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$Y_n$  = *Reduced mean*, tergantung jumlah sampel/data n

$S_n$  = *Reduced standard deviation*, yang tergantung pada jumlah sampel/data n

$Y_{tr}$  = *Reduced variate*, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y_{T_r} = -\ln \left( -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \quad (2.15)$$

**Tabel 2.15** *Reduced Mean, Y<sub>n</sub>* (Soemarto, 1987)

| N   | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10  | 0,4952 | 0,4496 | 0,5035 | 0,5070 | 0,5100 | 0,5128 | 0,5157 | 0,5181 | 0,5202 | 0,5220 |
| 20  | 0,5236 | 0,5252 | 0,5268 | 0,5283 | 0,5296 | 0,5309 | 0,5320 | 0,5332 | 0,5343 | 0,5353 |
| 30  | 0,5362 | 0,5371 | 0,5380 | 0,5388 | 0,5396 | 0,5403 | 0,5410 | 0,5418 | 0,5424 | 0,5436 |
| 40  | 0,5436 | 0,5442 | 0,5448 | 0,5453 | 0,5458 | 0,5463 | 0,5468 | 0,5473 | 0,5477 | 0,5481 |
| 50  | 0,5485 | 0,5489 | 0,5493 | 0,5497 | 0,5501 | 0,5504 | 0,5508 | 0,5511 | 0,5515 | 0,5518 |
| 60  | 0,5521 | 0,5524 | 0,5527 | 0,5530 | 0,5533 | 0,5535 | 0,5538 | 0,5540 | 0,5543 | 0,5545 |
| 70  | 0,5548 | 0,5550 | 0,5552 | 0,5555 | 0,5557 | 0,5559 | 0,5561 | 0,5563 | 0,5565 | 0,5567 |
| 80  | 0,5569 | 0,5570 | 0,5572 | 0,5574 | 0,5576 | 0,5578 | 0,5580 | 0,5581 | 0,5583 | 0,5585 |
| 90  | 0,5586 | 0,5587 | 0,5589 | 0,5591 | 0,5592 | 0,5593 | 0,5595 | 0,5596 | 0,5598 | 0,5599 |
| 100 | 0,5600 | 0,5602 | 0,5603 | 0,5604 | 0,5606 | 0,5607 | 0,5608 | 0,5609 | 0,5610 | 0,5611 |

**Tabel 2.16** *Reduced Standard Deviation, S<sub>n</sub>* (Soemarto, 1987)

| N   | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10  | 0,9496 | 0,9676 | 0,9833 | 0,9971 | 1,0095 | 1,0206 | 1,0316 | 1,0411 | 1,0493 | 1,0565 |
| 20  | 1,0628 | 1,0696 | 1,0754 | 1,0811 | 1,0864 | 1,0915 | 1,0961 | 1,1004 | 1,1047 | 1,1080 |
| 30  | 1,1124 | 1,1159 | 1,1193 | 1,1226 | 1,1255 | 1,1285 | 1,1313 | 1,1339 | 1,1363 | 1,1388 |
| 40  | 1,1413 | 1,1436 | 1,1458 | 1,1480 | 1,1499 | 1,1519 | 1,1538 | 1,1557 | 1,1574 | 1,1590 |
| 50  | 1,1607 | 1,1623 | 1,1638 | 1,1658 | 1,1667 | 1,1681 | 1,1696 | 1,1708 | 1,1721 | 1,1734 |
| 60  | 1,1747 | 1,1759 | 1,1770 | 1,1782 | 1,1793 | 1,1803 | 1,1814 | 1,1824 | 1,1834 | 1,1844 |
| 70  | 1,1854 | 1,1863 | 1,1873 | 1,1881 | 1,1900 | 1,1898 | 1,1906 | 1,1915 | 1,1923 | 1,1930 |
| 80  | 1,1938 | 1,1945 | 1,1953 | 1,1959 | 1,1967 | 1,1973 | 1,1980 | 1,1987 | 1,1994 | 1,2001 |
| 90  | 1,2007 | 1,2013 | 1,2020 | 1,2026 | 1,2032 | 1,2038 | 1,2044 | 1,2049 | 1,2055 | 1,2060 |
| 100 | 1,2065 | 1,2069 | 1,2073 | 1,2077 | 1,2081 | 1,2084 | 1,2087 | 1,2090 | 1,2093 | 1,2096 |

**Tabel 2.17** *Reduced Variate, Ytr* (Soemarto, 1987)

| Periode Ulang | <i>Reduced Variate, Ytr</i> |
|---------------|-----------------------------|
| 2             | 0,3668                      |
| 5             | 15,004                      |
| 10            | 22,510                      |
| 20            | 29,709                      |
| 25            | 31,993                      |
| 50            | 39,028                      |
| 100           | 46,012                      |
| 200           | 52,969                      |
| 250           | 55,206                      |
| 500           | 62,149                      |
| 1000          | 69,087                      |
| 5000          | 85,188                      |
| 10000         | 92,121                      |

Pemilihan jenis distribusi dapat dilakukan mengikuti pola sebaran yang sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

**Tabel 2.18** Jenis dan Kriteria Pemilihan Dostribusi

| Jenis Dsitribusi | Syarat                             |
|------------------|------------------------------------|
| Normal           | $C_s = 0$<br>$C_k = 3$             |
| Log Normal       | $C_s = 3 C_v + C_v^2$<br>$C_k = 3$ |
| Gumbel           | $C_s = 1,139$<br>$C_k = 5,4002$    |
| Log Pearson III  | $C_s \neq 0$                       |

### 2.2.6 Uji Kecocokan Data

Uji kecocokan data dimaksudkan untuk memastikan peluang distribusi yang dipilih telah mewakili distribusi sampel data yang telah dihitung. Pada uji ini, metode yang sering digunakan adalah metode Smirnov-Kolmogorov.

#### 2.2.6.1 Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji kecocokan *smirnov kolmogorov* sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Suripin, 2004).

Langkah perhitungan uji *smirnov-kolmogorov* adalah sebagai berikut :

- a. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya, kemudian tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut

$$X_1 = P(x_1);$$

$$X_2 = P(x_2);$$

$$X_3 = P(x_3), \text{ dan seterusnya}$$

- b. Urutkan nilai dari masing-masing peluang teoritis hasil penggambaran data

$$X_1 = P'(x_1);$$

$$X_2 = P'(x_2);$$

$$X_3 = P'(x_3) \text{ dan seterusnya}$$

- c. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih tersebarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis

$$D = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n)) \quad (2.16)$$

- d. Berdasarkan tabel nilai kritis (*smirnov-kolmogorov test*) tentukan harga  $D_0$ .

**Tabel 2.19** Nilai Kritis  $D_o$  (Soewarno, 1995)

| N   | A (Derajat Kepercayaan) |      |      |      |
|-----|-------------------------|------|------|------|
|     | 20%                     | 10%  | 5%   | 1%   |
| 5   | 0,45                    | 0,51 | 0,56 | 0,67 |
| 10  | 0,32                    | 0,37 | 0,41 | 0,49 |
| 15  | 0,27                    | 0,3  | 0,34 | 0,4  |
| 20  | 0,23                    | 0,26 | 0,29 | 0,36 |
| 25  | 0,21                    | 0,24 | 0,27 | 0,32 |
| 30  | 0,19                    | 0,22 | 0,24 | 0,29 |
| 35  | 0,18                    | 0,2  | 0,23 | 0,27 |
| 40  | 0,17                    | 0,19 | 0,21 | 0,25 |
| 45  | 0,16                    | 0,18 | 0,2  | 0,24 |
| 50  | 0,15                    | 0,17 | 0,19 | 0,23 |
| >50 | Menggunakan persamaan   |      |      |      |

### 2.2.7 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tingkat ketinggian hujan tiap satuan waktu (Suripin, 2004). Besar intensitas hujan tergantung pada lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Apabila tersedia data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung menggunakan persamaan *manonobe* :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.17)$$

Keterangan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lama hujan (jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum (mm)

### 2.2.8 Debit Banjir Rancangan

Secara umum, metode yang digunakan untuk memperkirakan laju aliran puncak atau debit banjir adalah metode rasional dan metode hidrograf banjir. Metode rasional merupakan metode yang sangat mudah digunakan, namun metode ini hanya dapat digunakan pada DAS berukuran kurang dari 300 ha (Goldman et.al., 1986).

Sedangkan metode hidrograf adalah metode yang menggunakan diagram untuk menggambarkan hubungan antara aliran terhadap waktu. Komponen yang tersusun dalam hidrograf yaitu aliran permukaan dan aliran dasar (*base flow*). Aliran permukaan berasal dari aliran langsung hujan, sedangkan aliran dasar berasal dari tanah yang memiliki respon lambat terhadap hujan. Hidrograf juga memiliki tiga bagian penting, yaitu bagian naik, puncak, dan turun.

Hidrograf yang menggambarkan limpasan langsung akibat hujan efektif di seluruh DAS dalam tetapan satuan waktu disebut sebagai hidrograf satuan. Hidrograf satuan dapat diturunkan dari hidrograf asli yang dihasilkan dari hujan yang turun di sebagian atau seluruh DAS, dimana diperlukan data limpasan dan data hujan untuk menurunkan hidrograf. Namun, beberapa DAS seringkali tidak memiliki data limpasan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan obesrvasi untuk mengetahui karakteristik atau parameter DAS yang akan ditinjau seperti, waktu mencapai puncak hidrograf, luas, kemiringan, lebar dasar panjang alur sungai koefisien limpasan, dan sebagainya. Hal ini dimaksudkan untuk penurunan hidrograf yang pada akhirnya hasil penurunan ini disebut sebagai hidrograf satuan sintetis (HSS). Beberapa metode



hidrograf satuan sintetik (HSS) yang sering digunakan dalam analisis debit banjir rancangan antara lain HSS *Snyder*, HSS *SCS*, HSS *Nakayasu* dan lain sebagainya.

### 2.2.8.1 Aliran Dasar (*Base Flow*)

Aliran dasar atau biasa disebut *base flow* merupakan salah satu komponen penyusun hidrograf. *Base flow* sendiri adalah aliran air tanah akibat dari curah hujan yang mengalami infiltrasi dan perkolasi. Persamaan untuk mencari *base flow* dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,943} \quad (2.18)$$

Keterangan :

$Q_b$  = Aliran dasar ( $m^3/s$ )

$A$  = Luas DAS ( $km^2$ )

$D$  = Kerapatan jaringan kuras ( $km/km^2$ )

Sedangkan kerapatan jaringan kuras dicari dengan persamaan :

$$D = \frac{L}{A} \quad (2.19)$$

Keterangan :

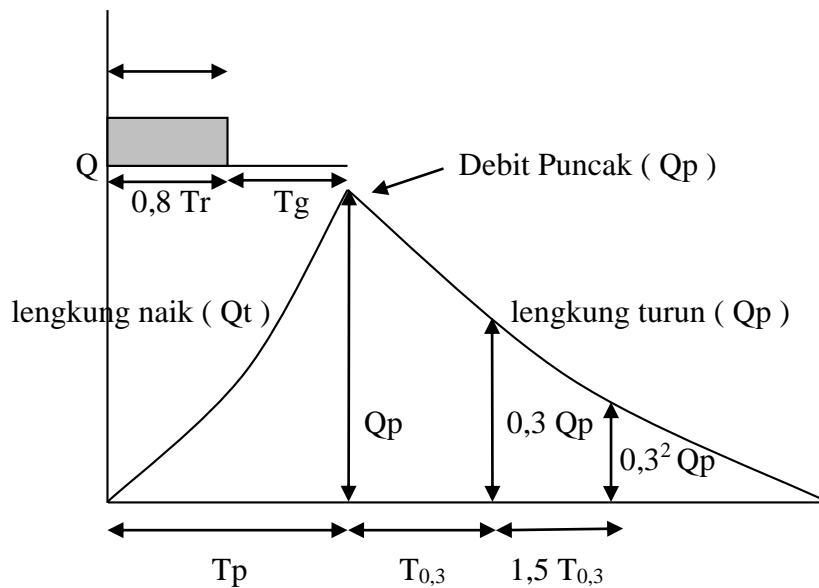
$D$  = Kerapatan jaringan kuras ( $km/km^2$ )

$L$  = Panjang sungai (km)

$A$  = Luas DAS ( $km^2$ )

### 2.2.8.2 Analisis HSS *Nakayasu*

Metode HSS *Nakayasu* merupakan metode hidrograf yang dikembangkan di Jepang oleh Dr. Nakayasu dan cukup populer digunakan untuk perancangan bangunan air di Indonesia. Penggambaran kurva hidrograf *Nakayasu* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.4** Kurva HSS *Nakaysu*

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan HSS *Nakayasu*, dijabarkan sebagai berikut :

- a. Menentukan waktu konsentrasi ( $T_g$ )

Untuk sungai dengan panjang,  $L < 15$  km menggunakan rumus :

$$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7} \quad (2.21)$$

Untuk sungai dengan panjang,  $L > 15$  km menggunakan rumus :

$$T_g = 0,4 + 0,058 \cdot L \quad (2.22)$$

- b. Menentukan satuan waktu hujan ( $T_r$ )

$$T_r = 0,5 \text{ s/d } 1 \cdot T_g \quad (2.23)$$

- c. Menentukan tenggang waktu ( $T_p$ )

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r \quad (2.24)$$

- d. Menentukan waktu penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak ( $T_{0,3}$ )

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \quad (2.25)$$

Keterangan :

$T_g$  = Waktu konsentrasi (jam)

$\alpha$  = Parameter hidrograf, dimana :

$\alpha = 2$ , untuk daerah pengaliran biasa;

$\alpha = 1,5$  untuk bagian naik hidrograf lambat, turun cepat;

$\alpha = 3$  untuk bagian naik hidrograf cepat, turun lambat

$$\alpha = \frac{0,47 (A \cdot L)^{0,25}}{T_g} \quad (2.26)$$

- e. Menentukan debit puncak banjir ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{36 \cdot (0,3 T_p) + T_{0,3}} \quad (2.27)$$

Keterangan :

$Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/s$ )

$C$  = Koefisien pengaliran limpasan

$A$  = Luas DAS ( $km^2$ )

$R_o$  = hujan satuan (1 mm)

- f. Menggambar hidrograf *Nakayasu*, pada saat kurva naik  $0 \leq t \leq T_p$

$$Q_t = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2.28)$$

g. Menggambarakan hidrograf *Nakayasu*, pada saat kurva turun

Untuk  $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$ , menggunakan rumus :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \frac{t-T_p}{T_{0,3}} \quad (2.29)$$

Untuk  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$ , menggunakan rumus :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t-T_p)(0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}} \quad (2.30)$$

Untuk  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$ , menggunakan rumus :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t-T_p)(0,5T_{0,3})}{2T_{0,3}} \quad (2.31)$$

h. Menentukan distribusi hujan jam-jaman ( $R_T$ )

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \left( \frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.32)$$

Keterangan :

$R_T$  = Intensitas hujan rata – rata dalam T jam (mm/jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum (mm)

t = Lama hujan (jam)

T = Waktu mulai hujan (jam)

i. Menentukan nisbah hujan jam-jaman ( $R_t$ )

$$R_t = T \cdot R_T - (T - 1) (R_T - 1) \quad (2.33)$$

Keterangan :

$R_T$  = Intensitas hujan rata – rata dalam T jam (mm/jam)

$R_T - 1$  = Nilai intensitas hujan sebelumnya (mm/jam)

j. Menentukan curah hujan efektif ( $R_c$ )

$$R_c = R_t \cdot R_n \quad (2.34)$$

$$R_n = C \cdot R \quad (2.35)$$

Keterangan :

R = Hujan rancangan dengan periode ulang T (mm/jam)

C = Koefisien limpasan

**Tabel 2.20** Nilai Koefisien Limpasan (Arsyad, 2005)

| Jenis Daerah                            | Koefisien C |
|---|-------------|
| Daerah perdagangan                      |             |
| – Perkotaan (downtown)                  | 0,70 - 0,90 |
| – Pinggiran                             | 0,50 - 0,70 |
| Pemukiman                               |             |
| – Perumahan satu keluarga               | 0,30 - 0,50 |
| – Perumahan berkelompok, terpisah-pisah | 0,40 - 0,60 |
| – Perumahan berkelompok, bersambungan   | 0,60 - 0,75 |
| – Suburban                              | 0,25 - 0,40 |
| – Daerah apartemen                      | 0,50 - 0,70 |
| Industri                                |             |
| – Daerah industri ringan                | 0,50 - 0,80 |
| – Daerah industri berat                 | 0,60 - 0,90 |
| Taman, perkuburan                       | 0,10 - 0,25 |
| Tempat bermain                          | 0,20 - 0,35 |
| Daerah stasiun kereta api               | 0,20 - 0,40 |
| Daerah belum diperbaiki                 | 0,10 - 0,30 |
| Jalan                                   | 0,70 - 0,95 |
| Bata                                    |             |
| – Jalan, hamparan                       | 0,75 - 0,85 |
| – Atap                                  | 0,75 - 0,95 |

k. Pembuatan kurva hidrograf

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dibuat dengan kurva yang menghubungkan antara debit (Q) terhadap waktu (t) dimana parameter-parameter didalamnya sesuai dengan hasil dari perhitungan.

### 2.2.9 Analisis Dimensi Hidrolis *Groundsill*

a. Dimensi Peluap

Persamaan perhitungan dimensi peluap berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut :

$$Q = \frac{2}{15} \cdot C \cdot \sqrt{2g} \cdot (3B_1 + 2B_2) \cdot h_3^{\frac{3}{2}} \quad (2.36)$$

Jika  $C = 0,60$

$m_2 = 0,50 \rightarrow$  rumus menjadi :

$$Q = (0,71h_3 + 1,77B_1) \cdot h_3 \quad (2.37)$$

$$Q = Q_p (1 + \alpha) \quad (2.38)$$

Debit desain didapat dari cara coba-coba dengan memasukkan nilai asumsi  $h_3$ , dimana :

$Q$  = Debit desain ( $m^3/s$ )

$Q_p$  = Debit rencana ( $m^3/s$ )

$\alpha$  = Konsentrasi sedimen

$B_1$  = Lebar peluap bagian bawah (m)

$B_2$  = Lebar muka air di atas peluap (m)

$m_2$  = Kemiringan tepi peluap

$h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

#### b. Lebar Mercu Peluap

Persamaan perhitungan lebar mercu peluap berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut :

$$b = \frac{n}{f} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_c} \cdot \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{4V^2}{100} \right) \quad (2.39)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.40)$$

$$b = \frac{(2 \sim 3)}{0,8 \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_c}} \cdot \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{4Q^2}{100A} \right) \quad (2.41)$$

Keterangan :

n = Koefisien keamanan (2 – 3)

$\Delta t$  = Dalamnya sekoring di depan mercu (m)

V = Kecepatan aliran saat banjir (m/s)

f = Koefisien gesekan dalam titik bendung (0,80)

$\gamma_w$  = Berat volume aliran air (1 – 1,2 t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_c$  = Berat volume bendung (t/m<sup>3</sup>)

t = Tinggi muka di depan mercu (m)

b = Lebar mercu peluap (m)

Q = Debit desain (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas penampang peluap (m<sup>2</sup>)

Lebar mercu peluap ditentukan dengan memperhatikan kondisi material dan hidologis lokasi setempat.

#### c. Kemiringan Bendung Bagian Hulu

Persamaan perhitungan kemiringan bendung bagian hulu berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut :

$$(1 + \alpha) \cdot m_2 + \{2(n + \beta) + n \cdot (4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\} \cdot m - (1 + 3\alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta_2 + n_2) = 0 \quad (2.42)$$

$$\alpha = \frac{h_3}{H} \quad (2.43)$$

$$\beta = \frac{b_2}{H} \quad (2.44)$$

$$\gamma = \frac{\gamma c}{\gamma w} \quad (2.45)$$

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.46)$$

Keterangan :

$h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

$b_2$  = Lebar mercu bendung utama

$a$  =  $(1 + \alpha)$

$b$  =  $\{2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta\}$

$c$  =  $(1 + 3\alpha) + \alpha \cdot \beta(4n + \beta) + \gamma(3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2)$

#### d. Kemiringan Bendung Bagian Hilir

Persamaan perhitungan kemiringan bendung bagian hilir berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut :

$$n_{max} = Vg \sqrt{\frac{2}{g \cdot H}} \quad (2.47)$$

Keterangan :



$n_{\max}$  = Kemiringan tubuh bendung utama bagian hilir

H = Tinggi total bendung utama (m)

$V_g$  = Komponen horizontal untuk kecepatan kritis (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

e. Menentukan Panjang Kolam Olak

Persamaan untuk menentukan panjang kolam olak berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut.

Persamaan Hidraulik :

$$L = l_w + X + b_2 \quad (2.48)$$

$$l_w = V_0 \sqrt{\frac{2(H_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g}} \quad (2.49)$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} \quad (2.50)$$

$$X = \beta \cdot h_j \quad (2.51)$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right\} \quad (2.52)$$

$$h_1 = \frac{q_1}{V_1} \quad (2.53)$$

$$V_1 = \sqrt{2g(H_1 + h_3)} \quad (2.54)$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} \quad (2.55)$$

Keterangan :

$l_w$  = Jarak terjunan (m)

- X = Panjang loncatan air (m)
- $b_2$  = Lebar mercu subdam (m)
- $q_0$  = Debit per meter pada peluap ( $\text{m}^3/\text{ds}/\text{m}$ )
- $h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)
- $H_1$  = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)
- $\beta$  = Koefisien (4,5 – 5,0)
- $h_j$  = Tinggi dari permukaan lantai kolam olak (permukaan batuan dasar) sampai ke muka air di atas mercu *subdam*
- $h_1$  = Tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)
- $q_1$  = Debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )
- $V_1$  = Kecepatan jatuh pada terjunan (m/s)
- $F_{r1}$  = Angka Froude aliran pada titik terjunan

Persamaan Empiris :

$$L = (1,5 s/d 2,0) x (H_1 + h_3) \quad (2.56)$$

Keterangan :

- L = Jarak bendung utama dan subdam (m)
- $H_1$  = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)
- $h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

f. Menentukan Tebal Lantai Kolam Olak

Persamaan untuk menentukan tebal lantai kolam olak berdasarkan Pd T-12-2004-A dijabarkan sebagai berikut.

Kolam Olak Tanpa Subdam :

$$t = 0,2 ( 0,6 H_1 + 3h_3 - 1) \quad (2.57)$$

Kolam Olak dengan Subdam :

$$t = 0,1 ( 0,6 H_1 + 3h_3 - 1) \quad (2.58)$$

Keterangan :

$t$  = Tebal lantai kolam olak (m)

$H_1$  = Tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m)

$h_3$  = Tinggi air di atas peluap bendung utama (m)

g. Menentukan Tinggi Subdam

Persamaan Hidraulik :

$$\frac{d}{h_1} = \frac{(1 + 2F_{r1}^2) \cdot (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}} - 5F_{r1}^2 - 1}{(1 + 4F_{r1}^2) - (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2} F_{r1}^{\frac{2}{3}} \quad (2.59)$$

Keterangan :

$d$  = Tinggi subdam (m)

$h_1$  = Tinggi air pada titik jatuh terjunan (m)

$F_{r1}$  = Angka Froude aliran pada titik terjunan

Persamaan Empiris :

$$d = \left( \frac{1}{3} s/d \frac{1}{4} \right) \cdot H - t \quad (2.60)$$

Keterangan :

$d$  = Tinggi subdam (m)

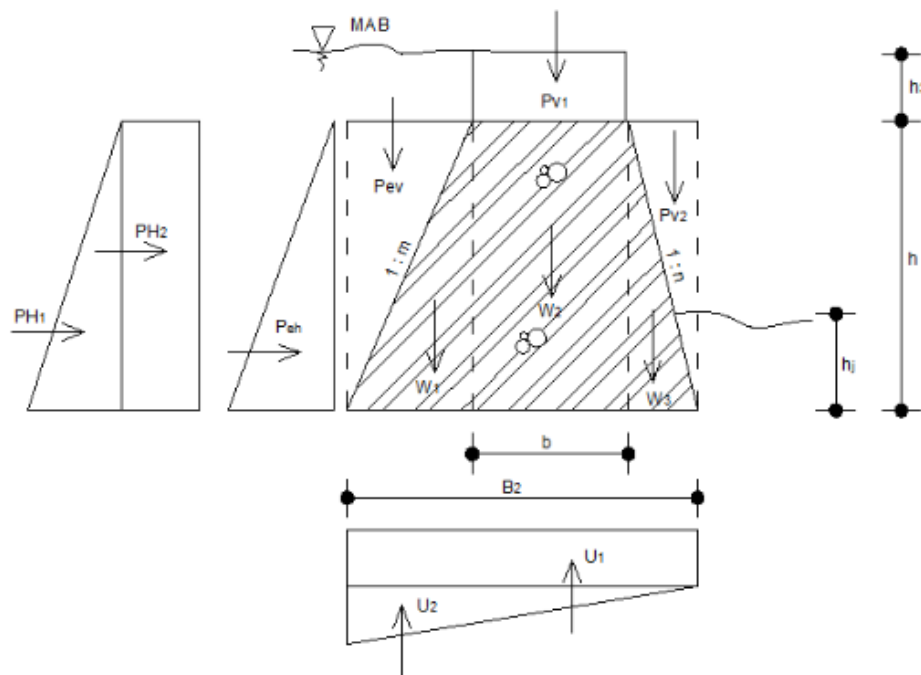
$H$  = Tinggi total bendung utama (m)

$t$  = Tebal lantai kolam olak (m)

## 2.2.10 Analisis Gaya-Gaya pada *Groundsill*

### 2.2.10.1 Kondisi Banjir

Gaya-gaya yang bekerja pada saat kondisi muka air banjir menurut Kementerian Pekerjaan Umum pada Modul-5 Perencanaan Struktur Bangunan Sabo (2018) yaitu, gaya akibat berat sendiri ( $W$ ), gaya akibat tekanan air statis ( $P$ ), gaya akibat tekanan tanah sedimen ( $Pe$ ), serta gaya akibat tekanan air keatas atau *uplift pressure* ( $U$ ). Persamaan untuk gaya-gaya yang bekerja pada kondisi banjir adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.5** Gaya Pada Kondisi Banjir (Kementerian Pekerjaan Umum, 2018)

**Tabel 2.21** Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Banjir

| Notasi   | Gaya vertikal (V)   | Lengan Momen (L)                               | Keterangan            |
|----------|---|--|-----------------------|
|          | Ton   | m  |                       |
| $W_1$    | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $(1/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Berat Sendiri         |
| $W_2$    | $b \times ht \times \gamma_m$                                       | $(1/2 \times b) + (n \times ht)$               | Berat Sendiri         |
| $W_3$    | $0,5 \times n \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $2/3 \times n \times ht$                       | Berat Sendiri         |
| $P_{ev}$ | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_{sub}$                      | $(2/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Tekanan Sedimen       |
| $P_{v1}$ | $b \times h_3 \times \gamma_m$                                      | $0,5 \times h_3 \times ht$                     | Tekanan Air           |
| $P_{v2}$ | $0,5 \times n \times ht^2 \times \gamma_w$                          | $1/3 \times n \times h$                        | Tekanan Air           |
| $U_1$    | $0,5 \times b_2 \times h_j \times \gamma_w$                         | $1/2 \times b_2$                               | Tekanan <i>Uplift</i> |
| $U_2$    | $0,5 \times b_2 \times (ht + h_3 - h_j) \times \gamma_w \times 0,5$ | $2/3 \times b_2$                               | Tekanan <i>Uplift</i> |

**Tabel 2.22** Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Banjir

| Notasi   | Gaya vertikal (V)  | Lengan Momen (L)                               | Keterangan      |
|----------|--|--|-----------------|
|          | Ton  | m  |                 |
| $PH_1$   | $0,5 \times h^2 \times \gamma_m$                         | $(1/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Tekanan Air     |
| $PH_2$   | $h \times h_3 \times \gamma_w$                           | $(1/2 \times b) + (n \times ht)$               | Tekanan Air     |
| $P_{eh}$ | $0,5 \times m \times h^2 \times \gamma_{sub} \times K_a$ | $2/3 \times b_2$                               | Tekanan Sedimen |

Keterangan :

$ht$  = Tinggi total main dam (m)

$b$  = Lebar peluap main dam (m)

$m$  = Kemiringan hulu main dam

$n$  = Kemiringan hilir main dam

$h_3$  = Tinggi muka air diatas peluap (m)

$\gamma_w$  = Berat isi air (sedimen) ( $t/m^3$ )

$\gamma_c$  = Berat isi bahan konstruksi ( $t/m^3$ )

$b_2$  = Lebar total dasar main dam (m)

$f$  = Koefisien gesek dasar main dam

$h_j$  = Tinggi air diatas kolam olak (m)

$\gamma_s$  = Berat isi sedimen ( $t/m^3$ )

$h$  = Tinggi efektif main dam (m)

$\phi$  = Sudut geser dalam tanah

$\gamma_{sub}$  = Berat isi sedimen *submerged* ( $t/m^3$ )

Rumus menghitung momen, digunakan persamaan sebagai berikut :

Momen akibat gaya vertikal

$$M = F_v \times L \quad (2.61)$$

Momen akibat gaya horizontal

$$M = F_h \times L \quad (2.62)$$

Keterangan :

$M$  = Momen gaya (tm)

$F_v$  = Gaya vertikal (t)

$F_h$  = Gaya horizontal (t)

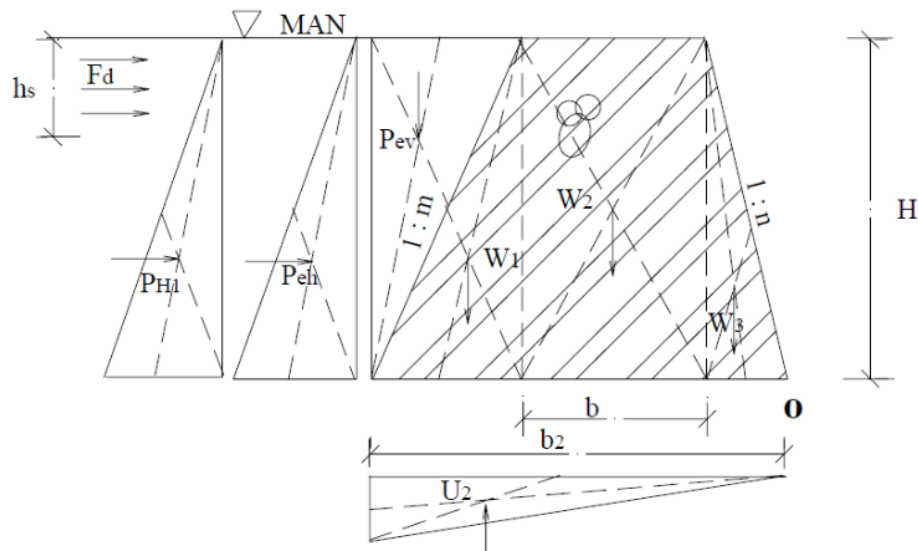
$L$  = Lengan momen (m)

### 2.2.10.2 Kondisi Normal

Gaya-gaya yang bekerja pada saat kondidi muka air normal hampir sama dengan saat kondisi banjir. Gaya-gaya yang bekerja adalah gaya akibat berat sendiri (W), gaya akibat tekanan air statis (P), gaya akibat tekanan tanah sedimen (Pe).

Pada sungai daerah gunung api, biasanya terjadi tumbukan antara aliran dengan tubuh main dam, oleh sebab itu gaya dari tumbukan ini harus diketahui besarnya.

Gaya-gaya yang bekerja pada struktur kondisi muka air normal dijabarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.6** Gaya Pada Kondisi Normal (Kementerian Pekerjaan Umum, 2018)

**Tabel 2.23** Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Normal

| Notasi   | Gaya vertikal (V)   | Lengan Momen (L)                               | Keterangan            |
|----------|---|--|-----------------------|
|          | Ton   | m  |                       |
| $W_1$    | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $(1/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Berat Sendiri         |
| $W_2$    | $b \times ht \times \gamma_m$                                       | $(1/2 \times b) + (n \times ht)$               | Berat Sendiri         |
| $W_3$    | $0,5 \times n \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $2/3 \times n \times ht$                       | Berat Sendiri         |
| $P_{ev}$ | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_{sub}$                      | $(2/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Tekanan Sedimen       |
| $U_2$    | $0,5 \times b_2 \times (ht + h_3 - h_j) \times \gamma_w \times 0,5$ | $2/3 \times b_2$                               | Tekanan <i>Uplift</i> |

**Tabel 2.24** Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Normal

| Notasi   | Gaya vertikal (V)  | Lengan Momen (L)                               | Keterangan      |
|----------|--|--|-----------------|
|          | Ton  | m  |                 |
| $PH_1$   | $0,5 \times h^2 \times \gamma_m$                         | $(1/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Tekanan Air     |
| $P_{eh}$ | $0,5 \times m \times h^2 \times \gamma_{sub} \times K_a$ | $2/3 \times b_2$                               | Tekanan Sedimen |

### 2.2.10.3 Kondisi Gempa

Ketika keadaan gempa, gaya gempa yang bekerja pada *main dam* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H = k \times W \quad (2.63)$$

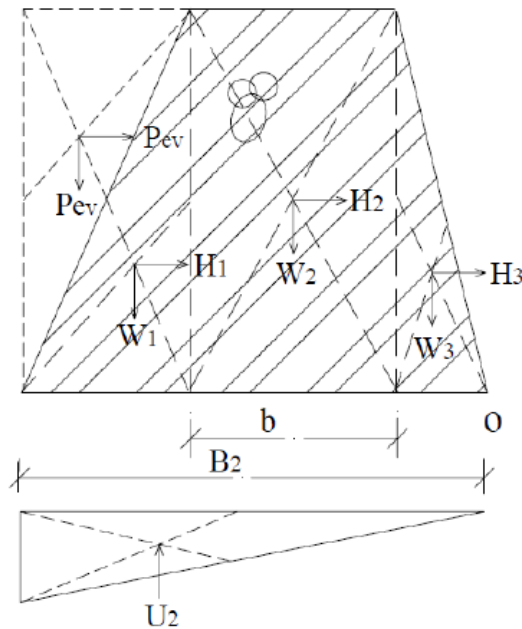
Keterangan :

H = Gaya gempa (t)

k = Koefisien gempa

W = Berat konstruksi (t)

Gaya-gaya yang bekerja saat kondisi gempa dijabarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.7** Gaya Pada Kondisi Gempa (Kementerian Pekerjaan Umum, 2018)



**Tabel 2.25** Rumus Gaya dan Lengan Momen Vertikal Kondisi Gempa

| Notasi   | Gaya vertikal (V)   | Lengan Momen (L)                               | Keterangan            |
|----------|---|--|-----------------------|
|          | Ton   | m  |                       |
| $W_1$    | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $(1/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Berat Sendiri         |
| $W_2$    | $b \times ht \times \gamma_m$                                       | $(1/2 \times b) + (n \times ht)$               | Berat Sendiri         |
| $W_3$    | $0,5 \times n \times ht^2 \times \gamma_m$                          | $2/3 \times n \times ht$                       | Berat Sendiri         |
| $P_{ev}$ | $0,5 \times m \times ht^2 \times \gamma_{sub}$                      | $(2/3 \times m \times ht) + b + (n \times ht)$ | Tekanan Sedimen       |
| $U_2$    | $0,5 \times b_2 \times (ht + h_3 - h_j) \times \gamma_w \times 0,5$ | $2/3 \times b_2$                               | Tekanan <i>Uplift</i> |

**Tabel 2.26** Rumus Gaya dan Lengan Momen Horizontal Kondisi Gempa

| Notasi   | Gaya Horizontal (H)   | Lengan Momen (L) | Keterangan      |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------|
|          | Ton                   | m                |                 |
| $H_1$    | $k \times W_1$        | $1/3 \times ht$  | Gaya Gempa      |
| $H_2$    | $k \times W_2$        | $1/2 \times ht$  | Gaya Gempa      |
| $H_3$    | $k \times W_3$        | $1/3 \times ht$  | Gaya Gempa      |
| $P_{ev}$ | $k \times W_{P_{ev}}$ | $2/3 \times h$   | Tekanan Sedimen |

Sesuai Pd-t-14-2004-A koefisien gempa dapat dihitung dengan persamaan

berikut :

$$K = \frac{Ad}{g} \quad (2.64)$$

$$Ad = Z \cdot Ac \cdot v \quad (2.65)$$

Keterangan :

Ad = Percepatan koefisien rencana (cm/s)

v = Faktor koreksi sesuai dengan jenis tanah

z = Faktor yang tergantung pada letak geografis

Ac = Percepatan dasar gempa (cm/s).

g = Percepatan gravitasi = 9,81 cm<sup>2</sup>/s.

### 2.2.11 Analisis Stabilitas *Groundsill*

#### a. Stabilitas Terhadap Guling

Stabilitas terhadap guling artinya adalah ketahanan suatu struktur untuk menahan momen gaya yang bekerja sehingga menyebabkan kegulingan.

Persamaan untuk menghitung stabilitas terhadap guling adalah :

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} > 1,5 \quad (2.66)$$

Keterangan :

$M_V$  = Jumlah momen yang menahan (tm)

$M_H$  = Jumlah momen yang menggulingkan (tm)

$SF_{guling}$  = Faktor keamanan terhadap guling

#### b. Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas terhadap geser artinya adalah ketahanan suatu struktur untuk menahan momen gaya yang bekerja sehingga menyebabkan geser pada struktur.

Persamaan untuk menghitung stabilitas terhadap geser adalah (Suyitno, 1994) :

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \Sigma V}{\Sigma H} > 1,5 \quad (2.67)$$

Keterangan :

$SF_{geser}$  = Faktor aman terhadap geser

F = koefisien geser

$\Sigma V$  = Jumlah gaya-gaya vertikal (t)

$\Sigma H$  = jumlah gaya-gaya horizontal (t)

**Tabel 2.27** Faktor Daya Dukung Tanah dan Koefisien Geser

| Klasifikasi Lapisan Pondasi | Daya Dukung Tanah (t/m <sup>2</sup> ) | Koefisien geser |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Batuan Dasar:               |                                       |                 |
| Batuan keras sedikit retak  | 100                                   | 0,7             |
| Batuan keras banyak retak   | 60                                    | 0,7             |
| Batuan lunak atau mudsNe.   | 30                                    | 0,7             |
| Lapisan Kerikil:            |                                       |                 |
| Kompak                      | 60                                    | 0,6             |
| Tidak Kompak.               | 30                                    | 0,6             |
| Lapis Pasir:                |                                       |                 |
| Kompak                      | 30                                    | 0,6             |
| Kurang Kompak.              | 20                                    | 0,5             |
| Tanah Liat:                 |                                       |                 |
| Keras                       | 10                                    | 0,45            |
| Kurang Keras                | 5                                     | -               |
| Sangat Keras.               | 20                                    | 0,5             |

Sumber: Perancangan Bangunan Pengendali Sedimen. VTSC-DirJen Pengairan-Dept PU.

c. Stabilitas Terhadap Rembesan (*Piping*)

Stabilitas terhadap rembesan (*piping*) dimaksudkan untuk mengecek apakah desain *ground sill* aman terhadap rembesan air yang mampu melewati bangunan sesuai dengan batas yang ditentukan. Teori *Lane* mengoreksi pernyataan *Bligh*, dimana teori ini menyatakan bahwa bidang vertikal 3 kali lebih efektif untuk menahan laju air daripada bidang horizontal dan dapat digambarkan perbandingannya adalah 3:1. Kontrol terhadap rembesan dirumuskan sebagai berikut (KP-06, 2013) :

$$CL = \left[ \sum L_v + \left( \frac{1}{3} L_h \right) \right] / H \quad (2.68)$$

Keterangan :

CL = Angka rembesan *Lane*

$\sum L_v$  = Total panjang vertikal (m)

$\sum L_h$  = Total panjang horizontal (m)

H = Beda tinggi muka air (m)

F = Koefisien geser

$\sum V$  = Jumlah gaya-gaya vertikal (t)

**Tabel 2.28** Nilai Minimum Angka Rembesan (KP-06, 2013)

| Material                                       | Rembesan |         |
|--|----------|---------|
|  | Lane     | Bligh   |
| Pasir sangat halus atau Lanau                  | 8,5      | 18      |
| Pasir halus                                    | 7,0      | 15      |
| Pasir Sedang                                   | 6,0      | --      |
| Pasir Kasar                                    | 5,0      | 12      |
| Kerikil Halus                                  | 4,0      | --      |
| Kerikil Sedang                                 | 3,5      | --      |
| Kerikil Kasar termasuk berangkal campur pasir  | 3,0      | 9       |
| Bongkahan dengan sedikit berangkal dan kerikil | 2,5      | 4 s/d 6 |
| Lempung lunak                                  | 3,0      | --      |
| Lempung sedang                                 | 2,0      | --      |
| Lempung Keras                                  | 1,8      | --      |
| Lempung sangat keras                           | 1,6      | --      |

d. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Penurunan pada suatu struktur diperbolehkan asal tidak mencapai batas yang ditetapkan. Kontrol terhadap penurunan perlu dilakukan untuk mengetahui keamanan struktur. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya dukung tanah adalah persamaan *Terzaghi* yang dijabarkan sebagai berikut (Hary C, 1996) :

$$Q_{ult} = (1,3 \times C \times N_c) + (hp \times \gamma \times N_q) + (0,4 \times b_2 \times \gamma \times N_\gamma) \quad (2.69)$$

Keterangan :

$Q_{ult}$  = Daya dukung ultimate tanah ( $t/m^2$ )

$C$  = Nilai kohesi tanah ( $t/m^2$ )

$H_p$  = Kedalaman pondasi (m)

$b_2$  = Lebar dasar main dam (m)

$\gamma$  = Berat isi sedimen ( $t/m^3$ )

$\phi$  = Sudut geser dalam

$N_c$  = Koefisien tanah berdasarkan sudut gesernya

$N_q$  = Koefisien tanah berdasarkan sudut gesernya

$N_\gamma$  = Koefisien tanah berdasarkan sudut gesernya

**Tabel 2.29** Kapasitas Daya Dukung *Terzaghi* (1943)

| $\phi$ | Keruntuhan Geser Umum |       |            | Keruntuhan Geser Lokal |        |             |
|--------|-----------------------|-------|------------|------------------------|--------|-------------|
|        | $N_c$                 | $N_q$ | $N_\gamma$ | $N_c'$                 | $N_q'$ | $N_\gamma'$ |
| 0      | 5,7                   | 1,0   | 0,0        | 5,7                    | 1,0    | 0,0         |
| 5      | 7,3                   | 1,6   | 0,5        | 6,7                    | 1,4    | 0,2         |
| 10     | 9,6                   | 2,7   | 1,2        | 8,0                    | 1,9    | 0,5         |
| 15     | 12,9                  | 4,4   | 2,5        | 9,7                    | 2,7    | 0,9         |
| 20     | 17,7                  | 7,4   | 5,0        | 11,8                   | 3,9    | 1,7         |
| 25     | 25,1                  | 12,7  | 9,7        | 14,8                   | 5,6    | 3,2         |
| 30     | 37,2                  | 22,5  | 19,7       | 19,0                   | 8,3    | 5,7         |
| 34     | 52,6                  | 36,5  | 35,0       | 23,7                   | 11,7   | 9,0         |
| 35     | 57,8                  | 41,4  | 42,4       | 25,2                   | 12,6   | 10,1        |
| 40     | 95,7                  | 81,3  | 100,4      | 34,9                   | 20,5   | 18,8        |
| 45     | 172,3                 | 173,3 | 297,5      | 51,2                   | 35,1   | 37,7        |
| 48     | 258,3                 | 287,9 | 780,1      | 66,8                   | 50,5   | 60,4        |
| 50     | 347,6                 | 415,1 | 1153,2     | 81,3                   | 65,6   | 87,1        |

Sumber : *Rekayasa Pondasi 1, Kapasitas Dukung Pondasi Dangkal*

Sedangkan beban maksimal yang diijinkan dapat dicari dengan rumus berikut :

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF_{guling}} \quad (2.70)$$

Keterangan :

$Q_{ijin}$  = Beban maksimal yang diijinkan pada struktur ( $t/m^2$ )

$Q_{ult}$  = Daya dukung ultimate tanah ( $t/m^2$ )

$SF_{guling}$  = Faktor aman terhadap guling

Kemudian struktur dikatakan aman apabila tegangan yang terjadi pada struktur tidak melebihi beban maksimal yang dianjurkan. Tegang pada struktur dihitung dengan persamaan berikut (Suryolelono, 1994) :

$$Q_{max} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin} \quad (2.71)$$

$$Q_{min} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin} \quad (2.72)$$

$$X = \frac{M_v - M_g}{\sum V} \quad (2.73)$$

$$e = X - \frac{B}{2} < \frac{B}{6} \quad (2.74)$$

Keterangan :

$Q_{max}$  = Tegangan maksimal yang terjadi akibat beban

$e$  = Eksentrisitas gaya akibat berat *main dam*(m)

$\sum V$  = Jumlah gaya-gaya vertikal (t)

$B$  = Lebar dasar *main dam* (m)

$M_v$  = Momen tahan (tm)

$M_g$  = Momen guling (tm)

$Q_{ult}$  = Daya dukung ultimate tanah ( $t/m^2$ )

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

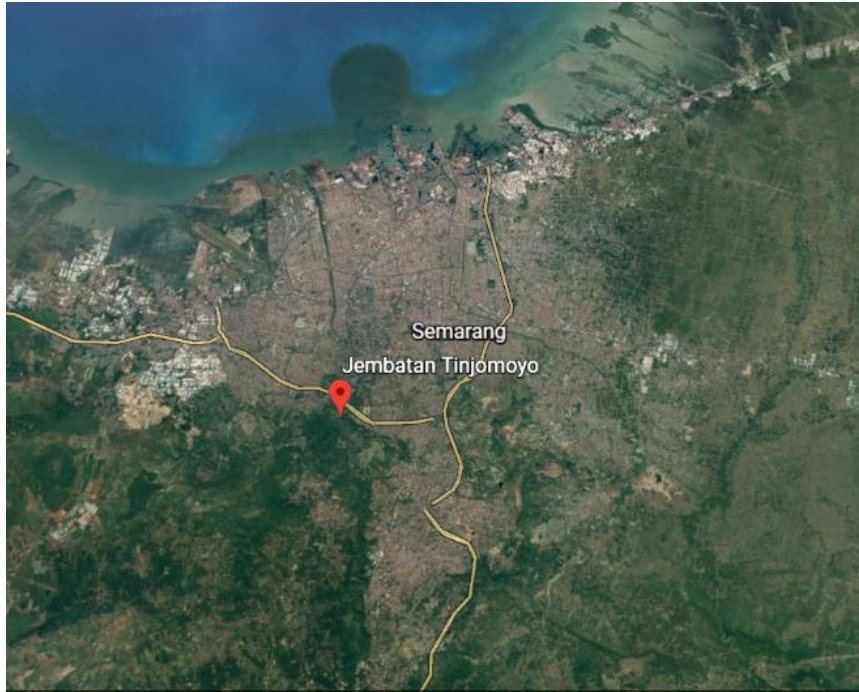
Metode utama penelitian ini adalah metode deskripsi kuantitatif. Metode deskriptif adalah prosedur pemecahan masalah yang diselidiki dengan menggambarkan atau melukiskan keadaan obyek penelitian pada saat sekarang berdasarkan fakta-fakta yang tampak sebagaimana adanya (Nawawi, 1991). Penelitian ini menggunakan teori-teori yang bersifat matematis dimana teori-teori tersebut digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang terjadi.

Kemudian penelitian juga dilengkapi dengan metode *survey* atau observasi, hal ini sesuai dengan pengertian observasi yang berarti teknik pengumpulan data dimana peneliti melakukan pengamatan secara langsung ke objek penelitian untuk melihat dari dekat kegiatan yang dilakukan (Riduwan, 2004).

#### **3.2 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian berada pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT atau lebih tepatnya pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Garang di hilir Jembatan Tinjomoyo, Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Peta lokasi penelitian tampak pada satelit ditunjukkan pada gambar dibawah ini.





**Gambar 3.1** Lokasi Penelitian Tampak pada Satelit (*Sumber: earth.google.com*)

### 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut :

**Tabel 3.1** *Alat dan Bahan*

| Nama Alat           | Bahan                                |
|---------------------|--------------------------------------|
| <i>GPS</i>          | <i>A-GPS</i>                         |
| Laptop              | Microsoft Excel<br>ArcGIS<br>AutoCAD |
| <i>Drawing Book</i> | A4                                   |
| Meteran             | -                                    |
| Kamera              | -                                    |

### 3.4 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan beberapa metode pengumpulan data yaitu sebagai berikut :

a. Metode Observasi

Metode observasi dilakukan peneliti dengan mengamati langsung ke lokasi penelitian mengenai keadaan pilar jembatan yang mulai terlihat adanya kenaikan pada permukaan dasar sungai. Di samping itu, pengamatan dilakukan pada dasar dan dinding sungai di sisi hilir pilar jembatan. Diamati juga kemiringan dasar sungai yang selanjutnya digunakan sebagai data untuk menganalisis dimensi *groundsill*.

b. Metode Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan peneliti dengan mengumpulkan data atau dokumen yang mencatat sejumlah data primer dan sekunder. Pada penelitian ini, data primer yaitu berupa peta *polygon thiessen* DAS Garang yang dibuat dengan menggunakan *software* ArcGIS. Sedangkan data sekunder atau pendukung yaitu data jumlah curah hujan di tiga stasiun hujan terdekat dengan lokasi penelitian.

c. Metode Literatur

Metode literatur dilakukan peneliti untuk kajian pustaka atau dukungan terhadap penelitian ini. Di samping itu dalam rangka menyusun landasan teori dengan mengumpulkan berbagai referensi seperti buku-buku, modul, jurnal, artikel dan skripsi lain yang bersifat cetak maupun non cetak dimana referensi ini mengacu pada penelitian.

### 3.5 Teknik Analisis Data

Adapun tahap-tahap untuk menganalisis data dijabarkan sebagai berikut :

#### 3.5.1 Analisis Hidrologi

Mencari hujan kawasan dengan perhitungan menggunakan metode *polygon thiessen* rumus (2.2).

#### 3.5.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Perhitungan analisis frekuensi dan probabilitas menggunakan metode distribusi *Log-Pearson III* sesuai dengan rumus (2.11) dan rumus (2.12).

#### 3.5.3 Uji Kecocokan Data

Uji kecocokan data menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorov* berdasarkan rumus (2.16).

#### 3.5.4 Analisis Intensitas Hujan

Perhitungan analisis intensitas hujan menggunakan metode manonobe sesuai dengan rumus (2.17).

#### 3.5.5 Analisis Aliran Dasar (*Base Flow*)

Perhitungan untuk mencari aliran dasar menggunakan rumus (2.18) sedangkan kerapatan jaringan kuras dicari dengan rumus (2.19).

#### 3.5.6 Analisis HSS Nakayasu

Perhitungan untuk mendapatkan kurva HSS Nakayasu antara lain :

- a. Waktu konsentrasi ( $T_p$ ), dihitung menggunakan rumus (2.22).
- b. Satuan waktu hujan ( $T_r$ ), dihitung menggunakan rumus (2.23).

- c. Tenggang waktu ( $T_p$ ), dihitung menggunakan rumus (2.24).
- d. Waktu Penurunan Debit Sampai 30% ( $T_{0,3}$ ), dihitung menggunakan rumus (2.25) dan parameter hidrograf dihitung dengan rumus (2.26).
- e. Debit Puncak Banjir ( $Q_p$ ), dihitung menggunakan rumus (2.27).
- f. Hidrograf Nakayasu Saat Kurva Naik ( $0 \leq t \leq T_p$ ), dihitung menggunakan rumus (2.28).
- g. Hidrograf Nakayasu Saat Kurva Turun, saat  $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$  dihitung dengan rumus (2.29), saat  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$  menggunakan rumus (2.30), serta saat  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$  menggunakan rumus (2.31).
- h. Distribusi Hujan Jam-Jaman ( $R_T$ ), dihitung menggunakan rumus (2.32).
- i. Nisbah Hujan Jam-Jaman ( $R_t$ ), dihitung menggunakan rumus (2.33).
- j. Curah Hujan Efektif ( $R_c$ ), dihitung menggunakan rumus (2.34).
- k. Kurva HSS Nakayasu, penggambaran kurva dengan kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun.

### 3.5.7 Desain *Groundsill*

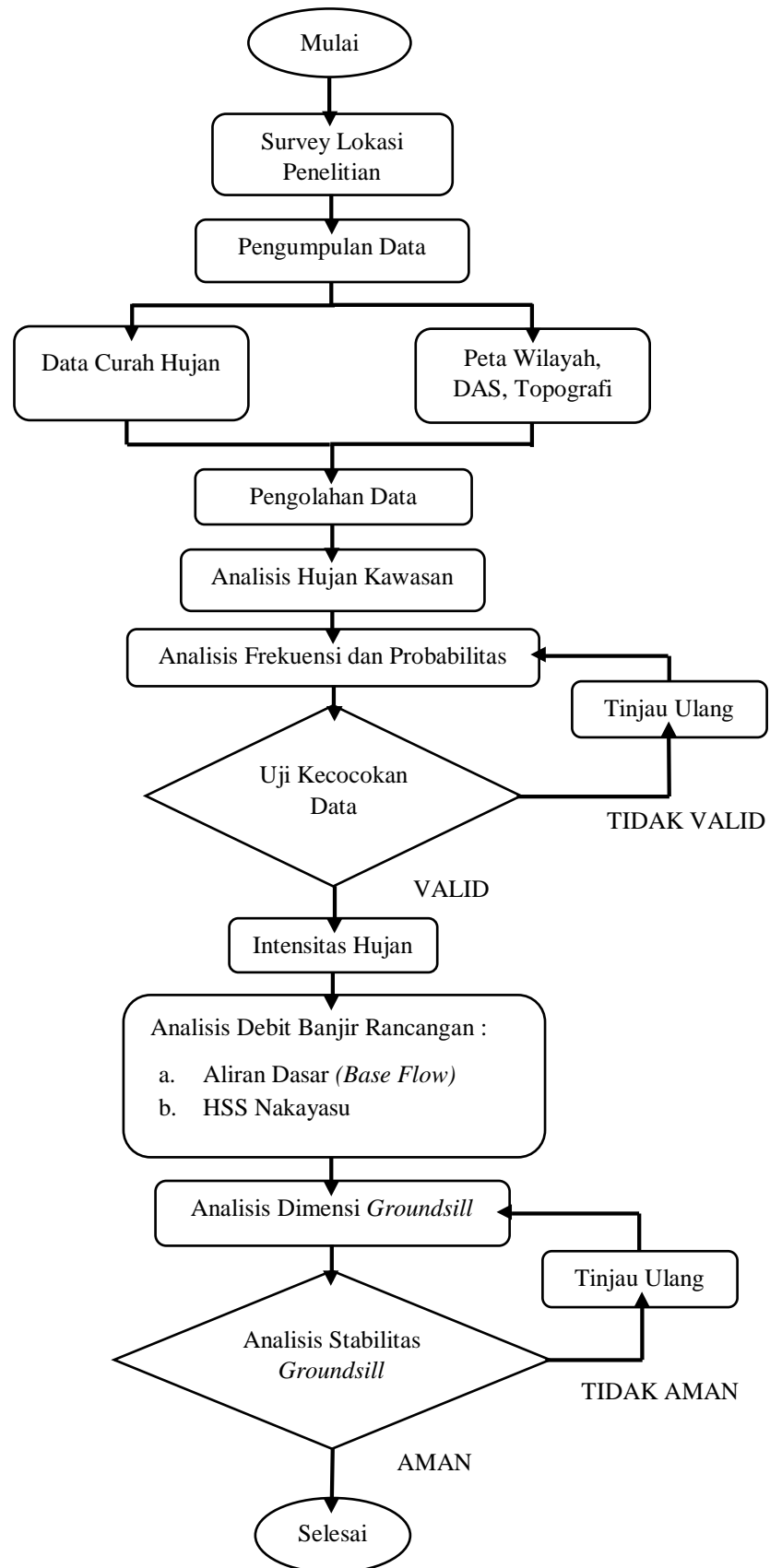
Dimulai dengan menentukan dimensi peluap rumus (2.37), lebar peluap rumus (2.41), kemiringan hulu bendung rumus (2.46), kemiringan hilir bendung (2.47), panjang kolam olak rumus (2.48), tebal kolam olak rumus (2.58) dan tinggi *sub-dam* rumus (2.60).

### 3.5.8 Stabilitas *Groundsill*

Stabilitas *groundsill* ditinjau dengan 4 kondisi yaitu, kondisi banjir, kondisi normal, kondisi gempu saat muka air banjir, dan kondisi gempu saat muka air

normal berdasarkan gaya-gaya ang bekerja antara lain, berat sendiri, tekanan air, tekanan sedimen, tekanan *uplift* dan gaya gempa.

### 3.6 Prosedur Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Analisis Hidrologi

Perencanaan dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Tinjomoyo diperlukan data curah hujan untuk perhitungan debit rancangan dengan kala ulang 50 tahun. Data hujan yang didapat adalah data hujan selama 16 tahun terakhir dan tercatat melalui stasiun hujan terdekat lokasi penelitian, antara lain Sta. Simongan, Sta. Gunungpati dan Sta. Sumurjurang. Peta *polygon thiessen* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Data hujan yang telah didapatkan terlebih dahulu di analisis untuk mendapatkan hujan kawasan atau hujan yang turun di sekitar lokasi penelitian. Hujan kawasan diperoleh menggunakan metode *polygon thiessen* dibawah berikut.

**Tabel 4.1** *Catchment Area*

| Catchment Area |                       |      |
|----------------|-----------------------|------|
| Simongan       | 9.26 km <sup>2</sup>  | 12%  |
| Gunungpati     | 11.38 km <sup>2</sup> | 14%  |
| Sumurjurang    | 59.58 km <sup>2</sup> | 74%  |
| Ai             | 80.22 km <sup>2</sup> | 100% |

*Sumber : Peta polygon thiessen DAS Garang (Lampiran 1)*

Cara perhitungan koefisien *thiessen* (C) dengan membagikan luas tangkapan stasiun hujan dengan jumlah keseluruhan tangkapan hujan.

$$\text{Sta. Simongan, } C = 9,26 / 80,22 = 12\%;$$

$$\text{Sta. Gunungpati, } C = 11,38 / 80,22 = 14\%;$$

$$\text{Sta. Sumurjurang, } C = 59,58 / 80,22 = 74\%.$$

**Tabel 4.2** Perhitungan Curah Hujan Kawasan Maksimum Rata-Rata

| Tahun | Sta. Simongan |         | Sta. Gunungpati |         | Sta. Sumurjurang |         | P      |
|-------|---------------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|--------|
|       | Xi            | Ai.Xi   | Xi              | Ai.Xi   | Xi               | Ai.Xi   |        |
| 2003  | 122,00        | 1129,72 | 151,00          | 1718,38 | 154,00           | 9175,32 | 149,88 |
| 2004  | 163,00        | 1509,38 | 147,00          | 1672,86 | 103,00           | 6136,74 | 116,17 |
| 2005  | 121,00        | 1120,46 | 105,00          | 1194,90 | 70,00            | 4170,60 | 80,85  |
| 2006  | 198,00        | 1833,48 | 174,00          | 1980,12 | 60,00            | 3574,80 | 92,10  |
| 2007  | 162,00        | 1500,12 | 305,00          | 3470,90 | 0,00             | 0,00    | 61,97  |
| 2008  | 169,00        | 1564,94 | 114,00          | 1297,32 | 165,00           | 9830,70 | 158,23 |
| 2009  | 216,00        | 2000,16 | 108,00          | 1229,04 | 35,00            | 2085,30 | 66,25  |
| 2010  | 110,00        | 1018,60 | 165,00          | 1877,70 | 121,00           | 7209,18 | 125,97 |
| 2011  | 83,00         | 768,58  | 200,00          | 2276,00 | 90,00            | 5362,20 | 104,80 |
| 2012  | 80,00         | 740,80  | 99,00           | 1126,62 | 55,00            | 3276,90 | 64,13  |
| 2013  | 111,00        | 1027,86 | 146,00          | 1661,48 | 124,00           | 7387,92 | 125,62 |
| 2014  | 125,00        | 1157,50 | 148,00          | 1684,24 | 72,00            | 4289,76 | 88,90  |
| 2015  | 177,00        | 1639,02 | 106,00          | 1206,28 | 79,00            | 4706,82 | 94,14  |
| 2016  | 98,00         | 907,48  | 152,00          | 1729,76 | 82,00            | 4885,56 | 93,78  |
| 2017  | 126,00        | 1166,76 | 110,00          | 1251,80 | 68,00            | 4051,44 | 80,65  |
| 2018  | 123,00        | 1138,98 | 85,00           | 967,30  | 73,00            | 4349,34 | 80,47  |

(Sumber data hujan: PSDA Bodri Kuto)

Contoh perhitungan curah hujan kawasan maksimum rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\text{Tahun 2003, } P = (9,26 \cdot 122 + 11,38 \cdot 151 + 59,58 \cdot 154) / 80,22 = 149,88$$

$$\text{Tahun 2004, } P = (9,26 \cdot 163 + 11,38 \cdot 147 + 59,58 \cdot 103) / 80,22 = 116,17$$

#### 4.2 Hasil Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Curah hujan kawasan yang diperoleh terlebih dahulu dihitung parameter statistiknya sebelum menentukan pola distribusi yang cocok dimana untuk menghitungnya diperlukan perhitungan rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis dan koefisien variasi. Pola distribusi yang umumnya digunakan antara lain distribusi normal, distribusi gumbel, distribusi Log Normal dan distribusi *Log-Pearson III*.



**Tabel 4.3** Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Normal dan Gumbel

| No.          | Xi       | (Xi-X) | (Xi-X) <sup>2</sup> | (Xi-X) <sup>3</sup> | (Xi-X) <sup>4</sup> |
|--------------|----------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1            | 61,97    | -37,03 | 1370,99             | -50763,67           | 1879622,48          |
| 2            | 64,13    | -34,87 | 1215,68             | -42386,68           | 1477880,21          |
| 3            | 66,25    | -32,75 | 1072,25             | -35110,98           | 1149716,14          |
| 4            | 80,47    | -18,52 | 343,00              | -6352,51            | 117650,52           |
| 5            | 80,65    | -18,34 | 336,39              | -6169,83            | 113161,30           |
| 6            | 80,85    | -18,14 | 329,14              | -5971,22            | 108330,59           |
| 7            | 88,90    | -10,09 | 101,91              | -1028,77            | 10385,40            |
| 8            | 92,10    | -6,89  | 47,51               | -327,45             | 2256,93             |
| 9            | 93,78    | -5,22  | 27,22               | -142,00             | 740,86              |
| 10           | 94,14    | -4,85  | 23,54               | -114,20             | 554,06              |
| 11           | 104,80   | 5,80   | 33,67               | 195,34              | 1133,44             |
| 12           | 116,17   | 17,17  | 294,93              | 5064,99             | 86983,64            |
| 13           | 125,62   | 26,63  | 708,95              | 18876,40            | 502603,57           |
| 14           | 125,97   | 26,98  | 727,80              | 19634,51            | 529696,17           |
| 15           | 149,88   | 50,89  | 2589,42             | 131765,87           | 6705079,44          |
| 16           | 158,23   | 59,23  | 3508,50             | 207817,74           | 12309587,16         |
| <b>Total</b> | 1583,908 | 0      | 12730,892           | 234987,538          | 24995381,913        |

Perhitungan rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis dan koefisien variasi adalah sebagai berikut :

Nilai Rata-Rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1583,908}{16} = 98,994$$

Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{12730,892}{16 - 1}} = 29,133$$

Koefisien Kemencengan (*Skewness*)

$$CS = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$CS = \frac{16}{(16-1)(16-2)29,133^3} \cdot 234987.538 = 0,724$$

Koefisien Kurtosis

$$CK = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$$

$$CK = \frac{16}{(16-1)(16-2)(16-3)29,133^4} \cdot 24995381.913$$

$$CK = -0,252$$

Koefisien Variasi

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{29,133}{98,994} = 0,294$$

**Tabel 4.4** Perhitungan Parameter Statistik Distribusi Log Normal dan *Log-Pearson III*

| No.          | Xi       | Log Xi | Log (Xi-X) | Log (Xi-X) <sup>2</sup> | Log (Xi-X) <sup>3</sup> | Log (Xi-X) <sup>4</sup> |
|--------------|----------|--------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1            | 61,97    | 1,79   | -0,1865    | 0,0348                  | -0,006491               | 0,00121077              |
| 2            | 64,13    | 1,81   | -0,1717    | 0,0295                  | -0,005058               | 0,00086820              |
| 3            | 66,25    | 1,82   | -0,1575    | 0,0248                  | -0,003908               | 0,00061566              |
| 4            | 80,47    | 1,91   | -0,0730    | 0,0053                  | -0,000390               | 0,00002847              |
| 5            | 80,65    | 1,91   | -0,0721    | 0,0052                  | -0,000374               | 0,00002699              |
| 6            | 80,85    | 1,91   | -0,0710    | 0,0050                  | -0,000358               | 0,00002542              |
| 7            | 88,90    | 1,95   | -0,0298    | 0,0009                  | -0,000026               | 0,00000079              |
| 8            | 92,10    | 1,96   | -0,0144    | 0,0002                  | -0,000003               | 0,00000004              |
| 9            | 93,78    | 1,97   | -0,0066    | 0,0000                  | 0,000000                | 0,00000000              |
| 10           | 94,14    | 1,97   | -0,0049    | 0,0000                  | 0,000000                | 0,00000000              |
| 11           | 104,80   | 2,02   | 0,0416     | 0,0017                  | 0,000072                | 0,00000301              |
| 12           | 116,17   | 2,07   | 0,0864     | 0,0075                  | 0,000645                | 0,00005569              |
| 13           | 125,62   | 2,10   | 0,1204     | 0,0145                  | 0,001744                | 0,00020986              |
| 14           | 125,97   | 2,10   | 0,1216     | 0,0148                  | 0,001797                | 0,00021846              |
| 15           | 149,88   | 2,18   | 0,1970     | 0,0388                  | 0,007651                | 0,00150753              |
| 16           | 158,23   | 2,20   | 0,2206     | 0,0487                  | 0,010732                | 0,00236738              |
| <b>Total</b> | 1583.908 | 31.659 | 0          | 0,232                   | 0,00603                 | 0,00714                 |

Perhitungan rata-rata, standar deviasi, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis dan koefisien variasi adalah sebagai berikut.

Nilai Rata-Rata :

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{31,659}{16} = 1,979$$

Standar Deviasi :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,232}{16 - 1}} = 0,124$$

Koefisien Kemencengan (*Skewness*) :

$$CS = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$CS = \frac{16}{(16 - 1)(16 - 2)0,124^3} \cdot 0,00603 = 0,239$$

Koefisien Kurtosis :

$$CK = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$$

$$CK = \frac{16}{(16 - 1)(16 - 2)(16 - 3)0,124^4} \cdot 0,00714$$

$$CK = -0,279$$

Koefisien Variasi :

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{0,214}{1,979} = 0,519$$

Pemilihan jenis distribusi sesuai dengan syarat ketentuan dijabarkan sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Pemilihan Jenis Distribusi

| Jenis Dsitribusi | Syarat                | Hasil  | Keterangan     |
|------------------|-----------------------|--------|----------------|
| Normal           | $C_s = 0$             | 0,724  | Tidak Memenuhi |
|                  | $C_k \sim 3$          | -0,252 |                |
| Log Normal       | $C_s = 3 C_v + C_v^2$ | 0,239  | Tidak Memenuhi |
|                  | $C_k = 3$             | -0,729 |                |
| Gumbel           | $C_s = 1,139$         | 0,724  | Tidak Memenuhi |
|                  | $C_k = 5,4002$        | -0,252 |                |
| Log Pearson III  | $C_s \neq 0$          | 0,239  | Memenuhi       |

Sesuai dengan tabel diatas pola distribusi yang digunakan adalah jenis distribusi *Log-Pearson III*. Tahap selanjutnya adalah mencari nilai K untuk mendapatkan nilai  $X_t$ . Pada distribusi *Log-Pearson III* koefisien kurtosis (CS) yang didapat sebesar 0,239 sesuai dengan **Tabel 2.14** didapatkan nilai K yang dijabarkan sebagai berikut.

**Tabel 4.6** Hasil Nilai K dan Curah Hujan Rencana

| Kala Ulang | k      | Log $X_t$ | $X_t$ (mm) |
|------------|--------|-----------|------------|
| 2          | -0,038 | 1,974     | 94,180     |
| 5          | 0,826  | 2,081     | 120,605    |
| 10         | 1,304  | 2,141     | 138,291    |
| 25         | 1,832  | 2,206     | 160,857    |
| 50         | 2,180  | 2,250     | 177,710    |

Contoh perhitungan curah hujan rencana berdasarkan nilai K yang didapat adalah sebagai berikut.

Kala Ulang 2 Tahun :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,979 + (-0,038 \cdot 0,124) = 1,974$$

$$X_T = \text{antilog } 1,974 = 94,180 \text{ mm}$$

Kala Ulang 5 Tahun :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,979 + (0,826 \cdot 0,124) = 2,081$$

$$X_T = \text{antilog } 2,081 = 120,605 \text{ mm}$$

Kala Ulang 10 Tahun :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,979 + (1,304 \cdot 0,124) = 2,141$$

$$X_T = \text{antilog } 2,141 = 138,291 \text{ mm}$$

Kala Ulang 25 Tahun :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,979 + (1,832 \cdot 0,124) = 2,206$$

$$X_T = \text{antilog } 2,206 = 160,857 \text{ mm}$$

Kala Ulang 50 Tahun :

$$\text{Log } X_T = \bar{X} + K.S = 1,979 + (2,180 \cdot 0,124) = 2,250$$

$$X_T = \text{antilog } 2,206 = 177,710 \text{ mm}$$

### 4.3 Hasil Uji Kecocokan Data

Setelah dilakukan analisis frekuensi dan probabilitas maka sebaran data harus diuji kecocokannya. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Smirnov-Kolmogorov*.

**Tabel 4.7** Hasil Uji *Smirnov-Kolmogorov*

| No. | X (mm) | $P(x) = \frac{m}{n+1}$ | $P(x<) = 1-P(x)$ | f (t)   | $P'(x) = \frac{m}{n-1}$ | $P'(x<) = 1-P'(x)$ | D      |          |
|-----|--------|------------------------|------------------|---------|-------------------------|--------------------|--------|----------|
| 1   | 61,97  | 0,0588                 | 0,9412           | -1,0298 | 0,067                   | 0,933              | 0,0078 |          |
| 2   | 64,13  | 0,1176                 | 0,8824           | -0,9868 | 0,133                   | 0,867              | 0,0157 |          |
| 3   | 66,25  | 0,1765                 | 0,8235           | -0,9107 | 0,200                   | 0,800              | 0,0235 |          |
| 4   | 80,47  | 0,2353                 | 0,7647           | -0,5151 | 0,267                   | 0,733              | 0,0314 |          |
| 5   | 80,65  | 0,2941                 | 0,7059           | -0,5101 | 0,333                   | 0,667              | 0,0392 |          |
| 6   | 80,85  | 0,3529                 | 0,6471           | -0,5046 | 0,400                   | 0,600              | 0,0471 |          |
| 7   | 88,90  | 0,4118                 | 0,5882           | -0,2808 | 0,467                   | 0,533              | 0,0549 |          |
| 8   | 92,10  | 0,4706                 | 0,5294           | -0,1917 | 0,533                   | 0,467              | 0,0627 |          |
| 9   | 93,78  | 0,5294                 | 0,4706           | -0,1451 | 0,600                   | 0,400              | 0,0706 |          |
| 10  | 94,14  | 0,5882                 | 0,4118           | -0,1349 | 0,667                   | 0,333              | 0,0784 |          |
| 11  | 104,80 | 0,6471                 | 0,3529           | 0,1614  | 0,733                   | 0,267              | 0,0863 |          |
| 12  | 116,17 | 0,7059                 | 0,2941           | 0,4776  | 0,800                   | 0,200              | 0,0941 |          |
| 13  | 125,62 | 0,7647                 | 0,2353           | 0,7405  | 0,867                   | 0,133              | 0,1020 |          |
| 14  | 125,97 | 0,8235                 | 0,1765           | 0,7503  | 0,933                   | 0,067              | 0,1098 |          |
| 15  | 149,88 | 0,8824                 | 0,1176           | 1,4153  | 1,000                   | 0,000              | 0,1176 |          |
| 16  | 158,23 | 0,9412                 | 0,0588           | 1,6474  | 1,067                   | -0,067             | 0,1255 |          |
| Xrt | 98,99  | D max                  |                  |         |                         |                    |        | 0,1255   |
| Sx  | 35,332 | D <sub>0</sub>         |                  |         |                         |                    |        | 0,33     |
| n   | 16     | Keputusan              |                  |         |                         |                    |        | Diterima |

Sesuai hasil perhitungan didapatkan Dmax sebesar 0,125 kemudian dicari harga D<sub>0</sub> pada **Tabel 2.20**, dimana jumlah data adalah 16 data maka didapat harga D<sub>0</sub> sebesar 0,33. Persyaratan uji *Smirnov-Kolmogorov* adalah apabila  $D_{max} < D_0$  dengan hasil  $0,125 < 0,33$  maka diputuskan hipotesa dapat diterima.

#### 4.4 Hasil Analisis Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan dihitung menggunakan metode manonobe. Contoh perhitungan intensitas hujan adalah sebagai berikut.

Kala Ulang 2 tahun :

$$t = 1$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{94,180}{24} \left( \frac{24}{1} \right)^{\frac{2}{3}} = 32,651 \text{ mm/jam}$$

t = 2

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{94,180}{24} \left( \frac{24}{2} \right)^{\frac{2}{3}} = 20,569 \text{ mm/jam}$$

t = 3

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{94,180}{24} \left( \frac{24}{3} \right)^{\frac{2}{3}} = 15,697 \text{ mm/jam}$$

**Tabel 4.8** Hasil Intensitas Curah Hujan

| Kala Ulang | 2 th     | 5 th    | 10 th   | 25 th   | 50 th   |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| R 24       | 94.180   | 120.605 | 138.291 | 160.857 | 177.710 |
| t          | (mm/jam) |         |         |         |         |
| 1          | 32,651   | 41,811  | 47,943  | 55,766  | 61,609  |
| 2          | 20,569   | 26,339  | 30,202  | 35,130  | 38,811  |
| 3          | 15,697   | 20,101  | 23,049  | 26,810  | 29,618  |
| 4          | 12,957   | 16,593  | 19,026  | 22,131  | 24,449  |
| 5          | 11,166   | 14,299  | 16,396  | 19,072  | 21,070  |
| 6          | 9,88     | 12,663  | 14,520  | 16,889  | 18,658  |
| 7          | 8,23     | 11,426  | 13,102  | 15,240  | 16,836  |
| 8          | 8,163    | 10,453  | 11,986  | 13,942  | 15,402  |
| 9          | 7,546    | 9,663   | 11,081  | 12,889  | 14,239  |
| 10         | 7,034    | 9,008   | 10,329  | 12,014  | 13,273  |
| 11         | 6,601    | 8,453   | 9,693   | 11,275  | 12,456  |
| 12         | 6,229    | 7,977   | 9,147   | 10,639  | 11,754  |
| 13         | 5,906    | 7,562   | 8,672   | 10,087  | 11,143  |
| 14         | 5,621    | 7,198   | 8,254   | 9,600   | 10,606  |
| 15         | 5,368    | 6,874   | 7,882   | 9,169   | 10,129  |
| 16         | 5,142    | 6,585   | 7,551   | 8,783   | 9,703   |
| 17         | 4,938    | 6,324   | 7,251   | 8,435   | 9,318   |
| 18         | 4,754    | 6,088   | 6,980   | 8,119   | 8,970   |
| 19         | 4,586    | 5,872   | 6,733   | 7,832   | 8,652   |
| 20         | 4,431    | 5,675   | 6,507   | 7,569   | 8,362   |
| 21         | 4,290    | 5,493   | 6,299   | 7,326   | 8,094   |
| 22         | 4,159    | 5,325   | 6,106   | 7,103   | 7,847   |
| 23         | 4,037    | 5,170   | 5,928   | 6,895   | 7,618   |
| 24         | 3,9242   | 5,0252  | 5,7621  | 6,7024  | 7,405   |

#### 4.5 Hasil Aliran Dasar (*Base Flow*)

Hidrograf banjir disusun dengan beberapa komponen salah satunya adalah aliran dasar (*base flow*). Data-data yang diperlukan untuk menghitung aliran dasar dijabarkan sebagai berikut.

$$\text{Luas DPS (A)} = 80,22 \text{ km}^2$$



Panjang Sungai (L) = 16,303 km

Kemudian kerapatan jaringan kuras dihitung menggunakan rumus (2.18) sedangkan aliran dasar (*base flow*) dihitung dengan rumus (2.19).

Kerapatan Jaringan Kuras :

$$D = \frac{L}{A} = \frac{16,303}{80,22} = 0,203 \text{ km/km}^2$$

Aliran Dasar (*Base Flow*) :

$$Qb = 0,4751 \cdot 80,22^{0,6444} \cdot 0,203^{0,943} = 1,784$$

#### 4.6 Hasil Analisis HSS Nakayasu

a. Waktu Konsentrasi (Tg)

Perhitungan waktu konsentrasi sesuai dengan panjang sungai  $L > 15$  km maka digunakan rumus (2.22).

$$Tg = 0,4 + 0,058 \cdot L = 0,4 + 0,058 \cdot 16,303 = 1,3456$$

b. Satuan Waktu Hujan (Tr)

Hasil dari perhitungan satuan waktu hujan adalah sebagai berikut.

$$Tr = 0,5 \text{ s/d } 1 \cdot Tg = 0,5 \cdot 1,3456 = 0,673$$

c. Tenggang Waktu (Tp)

Hasil dari perhitungan tenggang waktu adalah sebagai berikut.

$$Tp = Tg + 0,8 \cdot Tr = 1,3456 + 0,8 \cdot 0,673 = 1,884$$

d. Waktu Penurunan Debit Sampai 30% ( $T_{0,3}$ )

Perhitungan waktu penurunan debit sampai 30% dari debit puncak adalah sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{0,47 (A \cdot L)^{0,25}}{Tg} = \frac{0,47 (80,22 \cdot 16,303)^{0,25}}{1,3456} = 2,10$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot Tg = 2,10 \cdot 1,3456 = 2,826 \text{ jam}$$

e. Debit Puncak Banjir ( $Q_p$ )

Hasil dari perhitungan debit puncak banjir adalah sebagai berikut.

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{36 \cdot (0,3 T_p) + T_{0,3}}$$

$$Q_p = \frac{1 \cdot 80,22 \cdot 1}{36 \cdot (0,3 \cdot 1,884) + 2,826} = 6,570 \text{ m}^3/\text{s}$$

f. Hidrograf Nakayasu Saat Kurva Naik ( $0 \leq t \leq T_p$ )

Hasil dari perhitungan ditunjukkan pada tabel **4.9**.

g. Hidrograf Nakayasu Saat Kurva Turun

Hasil perhitungan kurva turun saat  $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$ ,  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$ , serta saat  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$  ditunjukkan pada

**Tabel 4.9.**

**Tabel 4.9** Hasil Perhitungan Kurva Hidrograf *Nakayasu*

| t (jam) | U     | Rumus yang dipakai  |
|---------|-------|---|
| 0       | 0,000 | $Q_t = Q_p (t/T_p)^{2,4}$   |
| 1       | 1,437 |   |
| 2       | 6,253 | $Q_t = Q_p \cdot 0,3^{(t-T_p/T_{0,3})}$                                 |
| 3       | 4,084 |   |
| 4       | 2,667 |   |
| 5       | 1,815 | $Q_t = Q_p \cdot 0,3^{(t-T_p+(0,5 \cdot T_{0,3})/(1,5 \cdot T_{0,3}))}$ |
| 6       | 1,367 |   |
| 7       | 1,029 |   |
| 8       | 0,774 |   |
| 9       | 0,585 | $Q_t = Q_p \cdot 0,3^{((t-T_p+(1,5 \cdot T_{0,3})/(2 \cdot T_{0,3}))}$  |
| 10      | 0,473 |   |
| 11      | 0,382 |   |
| 12      | 0,309 |   |
| 13      | 0,250 |   |
| 14      | 0,202 |   |
| 15      | 0,163 |   |
| 16      | 0,132 |   |
| 17      | 0,106 |   |
| 18      | 0,086 |   |
| 19      | 0,070 |   |
| 20      | 0,056 |   |
| 21      | 0,045 |   |
| 22      | 0,037 |   |
| 23      | 0,030 |   |
| 24      | 0,024 |   |

h. Distribusi Hujan Jam-Jaman ( $R_T$ )

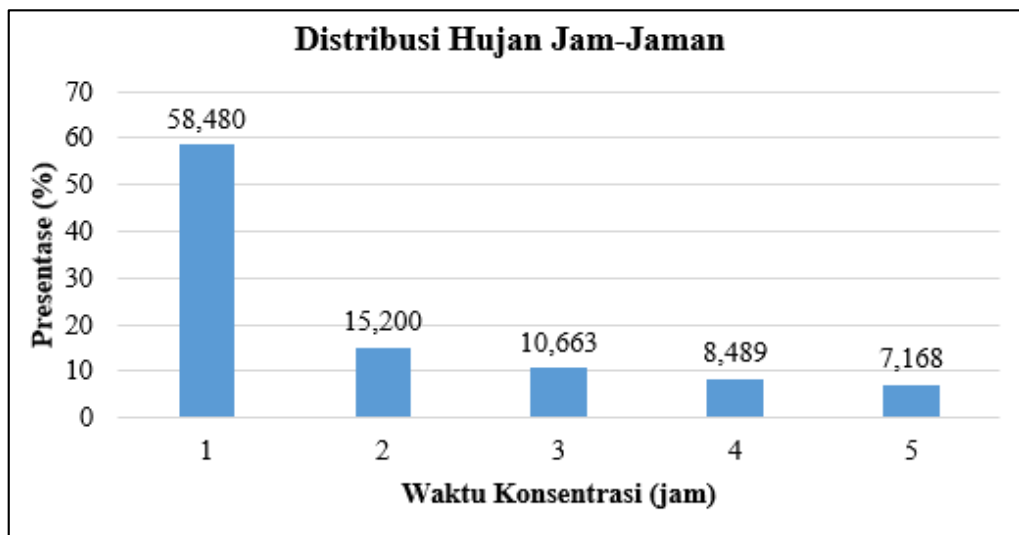
Hujan efektif yang digunakan adalah selama 5 jam. Hasil perhitungan dijabarkan pada **Tabel 4.10**.

i. Nisbah Hujan Jam-Jaman ( $R_t$ )

Hasil perhitungan nisbah hujan jam-jaman ditunjukkan pada **Tabel 4.10**

**Tabel 4.10** Hasil Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman

| Jam ke -<br>(t) | Distribusi hujan<br>(Rt) 1 jam-an | Curah hujan<br>jam ke - | Rasio<br>(%) | Kumulatif<br>(%) |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------|------------------|
| 0               |                                   |                         |              |                  |
| 1               | 0,585 R24                         | 0,585 R24               | 58,480       | 58,480           |
| 2               | 0,368 R24                         | 0,152 R24               | 15,200       | 73,681           |
| 3               | 0,281 R24                         | 0,107 R24               | 10,663       | 84,343           |
| 4               | 0,232 R24                         | 0,085 R24               | 8,489        | 92,832           |
| 5               | 0,200 R24                         | 0,072 R24               | 7,168        | 100,000          |
| Jumlah          |                                   | 1 R24                   | 100          |                  |

**Gambar 4.1** Kurva Distribusi Hujan Jam-Jaman

j. Curah Hujan Efektif ( $R_c$ )

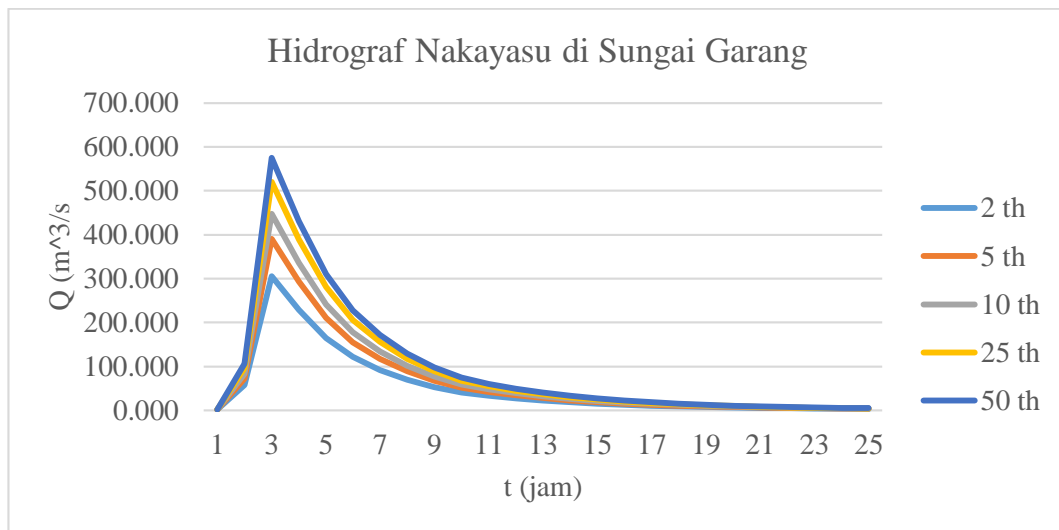
Penentuan curah hujan efektif menggunakan rumus (2.34) dimana menentukan  $R_n$  menggunakan rumus (2.35). Sedangkan koefisien limpasan diambil sebesar 0,7 sesuai pada **Tabel 2.21**. Hasil perhitungan curah hujan efektif dijabarkan pada **Tabel 4.11**.

**Tabel 4.11** Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif

| Periode Ulang | Hujan Rancangan | Koefisien Pengaliran | Hujan Efektif  | R efektif pada jam ke t (mm) |        |        |        |       |
|---------------|-----------------|----------------------|----------------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|
|               |                 |                      |                | 0 – 1                        | 1 – 2  | 2 – 3  | 3 – 4  | 4 – 5 |
| T             | R               | C                    | R <sub>c</sub> | 0,585                        | 0,152  | 0,107  | 0,085  | 0,072 |
| 2             | 94,180          | 0,700                | 65,926         | 38,554                       | 10,021 | 7,029  | 5,596  | 4,726 |
| 5             | 120,605         | 0,700                | 84,423         | 49,371                       | 12,833 | 9,002  | 7,166  | 6,052 |
| 10            | 138,291         | 0,700                | 96,804         | 56,611                       | 14,714 | 10,322 | 8,217  | 6,939 |
| 25            | 160,857         | 0,700                | 112,600        | 65,849                       | 17,116 | 12,006 | 9,558  | 8,071 |
| 50            | 177,710         | 0,700                | 124,397        | 72,748                       | 18,909 | 13,264 | 10,559 | 8,917 |

k. Hasil Kurva Hidrograf Nakayasu

Hasil debit banjir rencana yang diperoleh pada kurva hidrograf Nakayasu periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun berturut-turut adalah 305,522 m<sup>3</sup>/s, 390,742 m<sup>3</sup>/s, 447,783 m<sup>3</sup>/s, 520,560 m<sup>3</sup>/s, dan 574,912 m<sup>3</sup>/s.

**Gambar 4.2** Hidrograf *Nakayasu* di Sungai Garang

#### 4.7 Hasil Dimensi *Groundsill*

Sebelum merencanakan dimensi *groundsill* diperlukan data-data sebagai berikut :

$$\text{Debit banjir (Q}_{50}) = 574,912 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Luas DAS (A)} = 80,22 \text{ km}^2$$

$$\text{Kemiringan sungai (I)} = 0,106$$

$$\text{Berat jenis aie } (\gamma_w) = 1,000 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Berat jenis beton } (\gamma_c) = 2,400 \text{ t/m}^3$$

a. Dimensi Peluap

Debit desain didapatkan dengan menggunakan cara coba-coba dengan memasukkan nilai  $h_3$ . Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$Q_{50} = 574,912 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = 0,1 \rightarrow \text{untuk aliran sedimen biasa}$$

Sehingga  $Q_{\text{desain}}$ ,

$$Q = Q_p (1 + \alpha)$$

$$Q = 574,912 (1 + 0,1) = 632,403 \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah didapatkan  $Q_{\text{desain}}$  sebesar  $632.403 \text{ m}^3/\text{s}$ , kemudian dimasukkan nilai coba-coba  $h_3$  sampai didapatkan nilai  $Q$  sama dengan  $Q_{\text{desain}}$ .

$$Q = (0,71h_3 + 1,77B_1) \cdot h_3$$

$$Q = (0,71h_3 + 1,77 \cdot 75,443) \cdot h_3$$

Nilai  $h_3$  didapatkan sebesar 2,793 m dengan tinggi jagaan (F) berdasarkan tabel B1 Pd T-12-2004-A untuk debit desain  $500 - 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  dipakai 1,5 m.

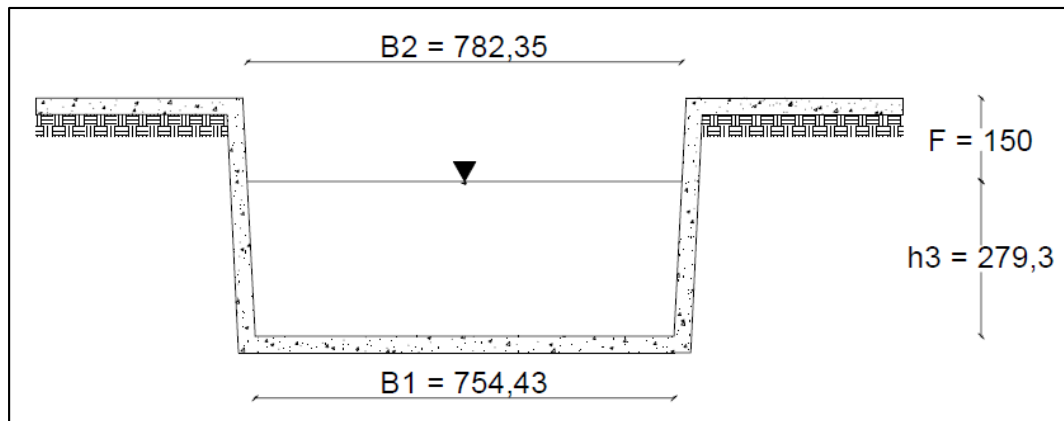
Kemudian untuk lebar pelimpah (B1) dan lebar dasar muka pelimpah (B2) dapat ditentukan dengan perhitungan berikut :

$$B1 = a \cdot \sqrt{Q_{\text{desain}}} = 3 \cdot \sqrt{632,403} = 75,443 \text{ m}$$

diambil kemiringan tepi peluap,  $m_2 = 0,50$

$$B2 = B1 + 2m_2 \cdot h_3$$

$$B2 = 75,443 + (2 \cdot 0,50) \cdot 2,793 = 78,235 \text{ m}$$



**Gambar 4.3** Penampang Melintang

b. Lebar Mercu Peluap

Berdasarkan tabel B2 Pd T-12-2004-A penentuan lebar mercu peluap (b2) diambil sebesar 3 m dengan sedimen berupa batu-batu besar dan aliran bersifat debris.

c. Tinggi *Main Dam*

Pada penelitian ini diambil tinggi main dam (H) setinggi 2,5 m sesuai dengan Pd T-12-2004-A yang menyarankan tinggi bendung  $< 5$  m. Adapun hasil perhitungan kemiringan stastik ( $I_{\text{statik}}$ ) dan dinamik ( $I_{\text{dinamik}}$ ), panjang tampungan mati sedimen (L1) dan panjang tampungan dinamis sedimen (L2) adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{statik}} = \frac{1}{2} \cdot I_0 = \frac{1}{2} \cdot 0,106 = 0,053$$

$$I_{\text{dinamik}} = \frac{2}{3} \cdot I_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,106 = 0,070$$

$$L1 = \frac{H}{(I_0 - I_{statik})}$$

$$L1 = \frac{H}{(0,106 - 0,053)} = 47,33 \text{ m}$$

$$L2 = \frac{H}{(I_0 - I_{dinamik})}$$

$$L2 = \frac{H}{(0,106 - 0,070)} = 71 \text{ m}$$

d. Kemiringan Bendung Bagian Hulu

Perhitungan kemiringan hulu bendung (m) menggunakan rumus (2.46)

yang dijabarkan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{h_3}{H} = \frac{2,793}{2,5} = 1,117$$

$$\beta = \frac{b_1}{H} = \frac{b_2}{2,5} = 1,2$$

$$\gamma = \frac{\gamma c}{\gamma w} = \frac{2,4}{1} = 2,4$$

Sehingga,

$$a = (1 + \alpha) = (1 + 1,117) = 2,117$$

$$b = 2(n + \beta) + n \cdot (4 \cdot \alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta = 2(0,2 + 1,2) + 0,2 \cdot (4 \cdot 1,117 + 2,4) + 2 \cdot 1,117 \cdot 1,2 = 6,854$$

$$c = -(1 + 3 \cdot \alpha) + \alpha \cdot \beta \cdot (4 \cdot n + \beta) + \gamma \cdot (3 \cdot n \cdot \beta + \beta^2 + n^2) = -(1 + 3 \cdot 1,117) + 1,117 \cdot 1,2 \cdot (4 \cdot 0,2 + 1,2) + 2,4 \cdot (3 \cdot 0,2 \cdot 1,2 + 1,2^2 + 0,2^2) = 3,610$$

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$m = \frac{-6,854 \pm \sqrt{6,854^2 - 4 \cdot 2,117 \cdot 3,610}}{2 \cdot 2,117} = 0,442 \text{ m}$$



e. Kemiringan Bendung Bagian Hilir

Perhitungan kemiringan hilir bendung dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Vg &= \frac{Q}{0,5 \cdot H \cdot (B1 + B2)} \\
 &= \frac{Q}{0,5 \cdot 2,5 \cdot (75,443 + 78,235)} = 3,293 \text{ m/s} \\
 n_{max} &= Vg \sqrt{\frac{2}{g \cdot H}} = Vg \sqrt{\frac{2}{9,8 \cdot 2,5}} = 0,941
 \end{aligned}$$

Maka nilai kemiringan hilir bendung (n) diambil setinggi 0,2 m supaya aliran tidak menyusuri dinding.

f. Panjang Kolam Olak

Perhitungan panjang kolam olak dijabarkan sebagai berikut :

$$q_0 = \frac{Q}{B1 + F} = \frac{632,403}{75,443 + 1,5} = 8,219 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} = \frac{8,219}{2,793} = 2,943 \text{ m/s}$$

$$H_1 = H - t = 2,5 - 0,888 = 1,612 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \sqrt{2g(H_1 + h_3)} \\
 &= \sqrt{2 \cdot 9,81(1,612 + 2,793)} = 9,292 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$h_1 = \frac{q_1}{V_1} = \frac{8,219}{9,292} = 0,885 \text{ m}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{9,292}{\sqrt{9,81 \cdot 0,885}} = 2,763$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right\}$$

$$= \frac{0,885}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8 \cdot 2,763^2} - 1 \right\} = 1,684 \text{ m}$$

$$X = \beta \cdot h_j = 4,5 \cdot 1,684 = 7,577 \text{ m}$$

$$l_w = V_0 \sqrt{\frac{2 \left( H_1 + \frac{1}{2} h_3 \right)}{g}}$$

$$= V_0 \sqrt{\frac{2 \left( 1,612 + \frac{1}{2} 2,793 \right)}{9,8}} = 1,688 \text{ m}$$

Sehingga,

$$L = l_w + X + b_2 = 1,688 + 7,577 + 3 = 12,265 \text{ m}$$

$$L_{\text{empiris}} = 1,5 \times (H_1 + h_3) = 1,5 \times (2,5 + 2,793) = 2,418 \text{ m}$$

$L_{\text{empiris}} < L$  maka dipakai  $L$ . Maka panjang loncatan adalah sejauh 12,265 m.

g. Tebal Lantai Kolam Olak

Perhitungan tebal kolam olak dengan sub-dam menggunakan rumus (2.58) dijabarkan sebagai berikut :

$$t = 0,1 (0,6 H_1 + 3h_3 - 1)$$

$$t = 0,1 (0,6 \cdot 1,612 + 3 \cdot 2,793 - 1) = 0,888 \text{ m}$$

h. Tinggi Sub-Dam

Perhitungan tinggi sub-dam menggunakan rumus (2.59) dan dijabarkan sebagai berikut :

$$\frac{d}{h_1} = \frac{(1 + 2F_{r1}^2) \cdot (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}} - 5F_{r1}^2 - 1}{(1 + 4F_{r1}^2) - (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2} F_{r1}^{\frac{2}{3}}$$

$$d = \frac{(1 + 2F_{r1}^2) \cdot (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}} - 5F_{r1}^2 - 1}{(1 + 4F_{r1}^2) - (1 + 8F_{r1}^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{3}{2} F_{r1}^{\frac{2}{3}} \cdot h_1$$

$$d = \frac{(1 + 2 \cdot 2,763^2) \cdot (1 + 8 \cdot 2,763^2)^{\frac{1}{2}} - 5 \cdot 2,763^2 - 1}{(1 + 4 \cdot 2,763^2) - (1 + 8 \cdot 2,763^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$-\frac{3}{2} 2,763^{\frac{2}{3}} \cdot 0,885 = 0,715 \text{ m} \sim 0,8 \text{ m}$$

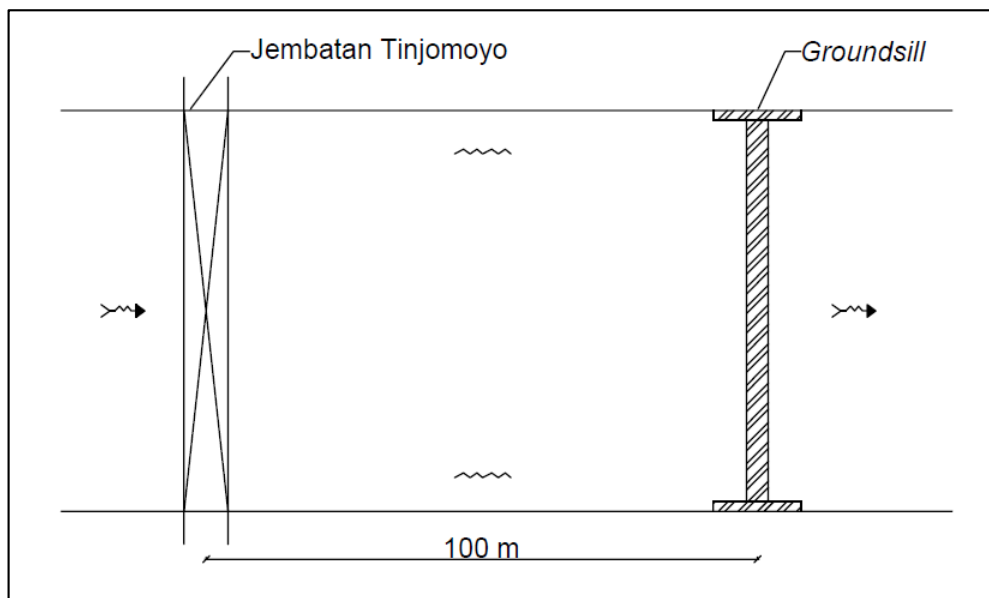
i. Kedalaman Pondasi

Perhitungan kedalaman pondasi adalah sebagai berikut :

$$h_p = \frac{1}{3} (h_3 + H) = \frac{1}{3} (2,793 + 2,5) = 1,764 \text{ m} \sim 1,8 \text{ m}$$

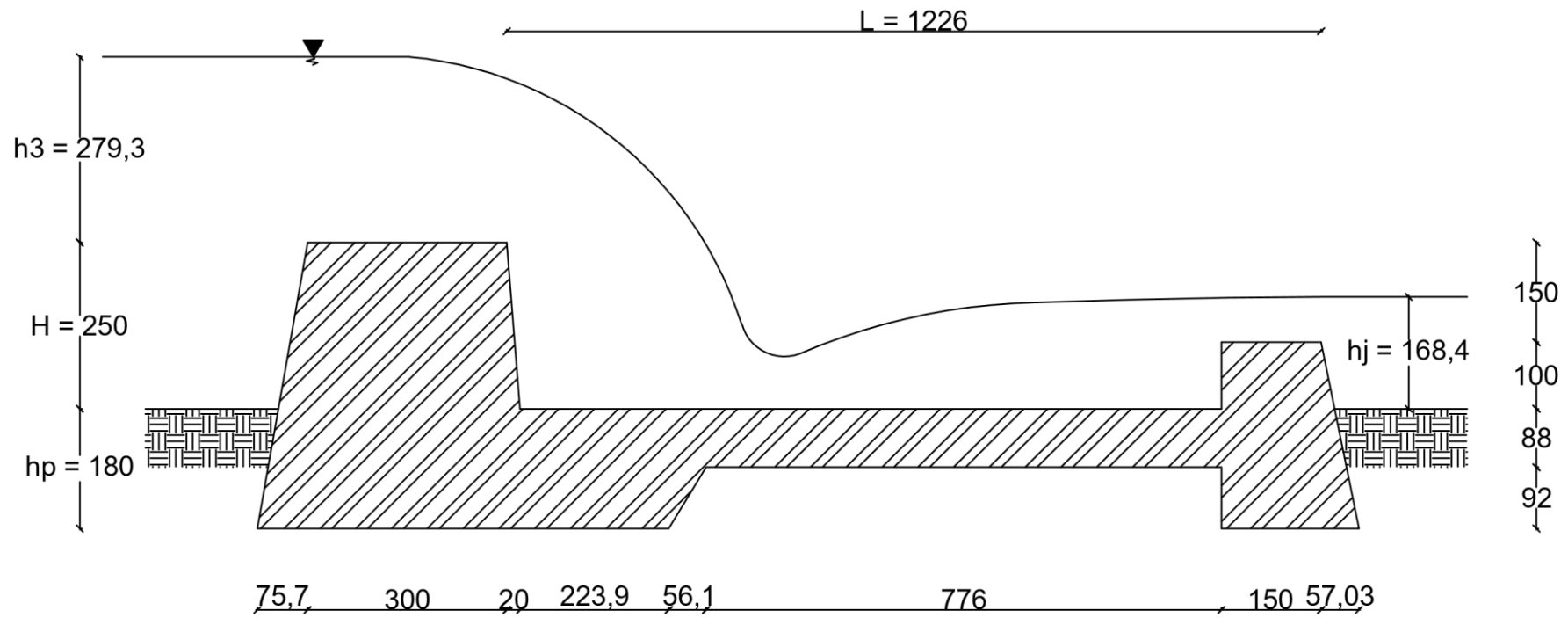
Maka kedalaman pondasi pada *groundsill* diambil sedalam 1,8 m.

Sketsa jarak penempatan *groundsill* ditunjukkan pada gambar dibawah.



**Gambar 4.4** Sketsa Penempatan *Groundsill*

Sedangkan, berdasarkan data perhitungan maka dimensi *groundsill* dapat dijelaskan pada gambar berikut ini.



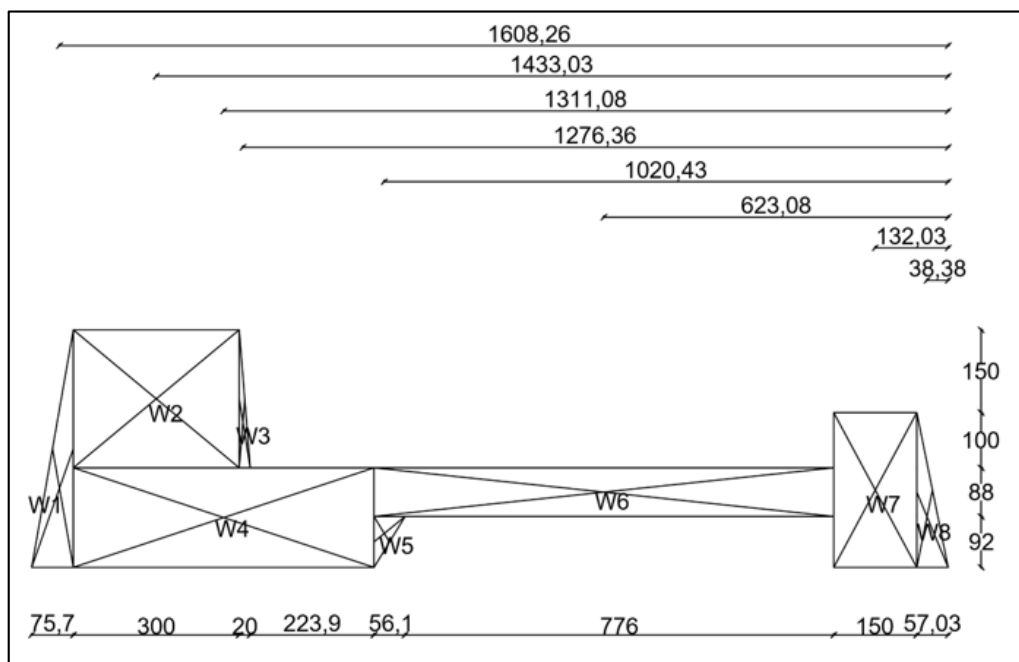
|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| DIGAMBAR OLEH                        | SKALA |
| NAMA : NADYA K.M<br>NIM : 5113416019 | 1:100 |

**Gambar 4.5** Dimensi *Groundsill*

#### 4.8 Hasil Analisis Gaya-Gaya yang Bekerja

##### a. Gaya Akibat Berat Sendiri

Pada suatu bangunan yang telah dirancang dapat menimbulkan gaya-gaya yang bekerja akibat massa atau beban dari bangunan itu sendiri, dimana gaya tersebut bekerja tegak lurus terhadap bendung. Gaya akibat berat sendiri kondisi air banjir dan normal dijabarkan sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Gaya Akibat Berat Sendiri Kondisi Muka Air Banjir dan Normal

**Tabel 4.12** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Berat Sendiri Kondisi Muka Air Banjir dan Normal

| Notasi | m     | n     | ht    | b     | yc    | Gaya   | Lengan | Momen   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
|        |       |       |       |       |       | (ton)  | (m)    | (ton.m) |
| W1     | 0,757 |       | 4,300 |       | 2,400 | 3,906  | 16,083 | 62,821  |
| W2     |       |       | 2,500 | 3,000 | 2,400 | 18,000 | 14,330 | 257,945 |
| W3     |       | 0,200 | 2,500 |       | 2,400 | 0,600  | 13,111 | 7,866   |
| W4     |       |       | 1,800 | 5,439 | 2,400 | 23,496 | 12,764 | 299,900 |
| W5     |       | 0,561 | 0,920 |       | 2,400 | 0,619  | 10,204 | 6,320   |
| W6     |       |       | 0,880 | 7,760 | 2,400 | 16,389 | 6,231  | 102,117 |
| W7     |       |       | 2,800 | 1,500 | 2,400 | 10,080 | 1,320  | 13,309  |
| W8     |       | 0,573 | 2,800 |       | 2,400 | 1,925  | 0,384  | 0,739   |
| Total  |       |       |       |       |       | 73,091 |        | 750,278 |

Contoh perhitungan gaya :

$$W1 = 0,5 \cdot m \cdot ht \cdot yc = 0,5 \cdot 0,757 \cdot 4,3 \cdot 2,4 = 3,906 \text{ ton}$$

$$W2 = b \cdot ht \cdot yc = 3 \cdot 2,5 \cdot 2,4 = 18 \text{ ton}$$

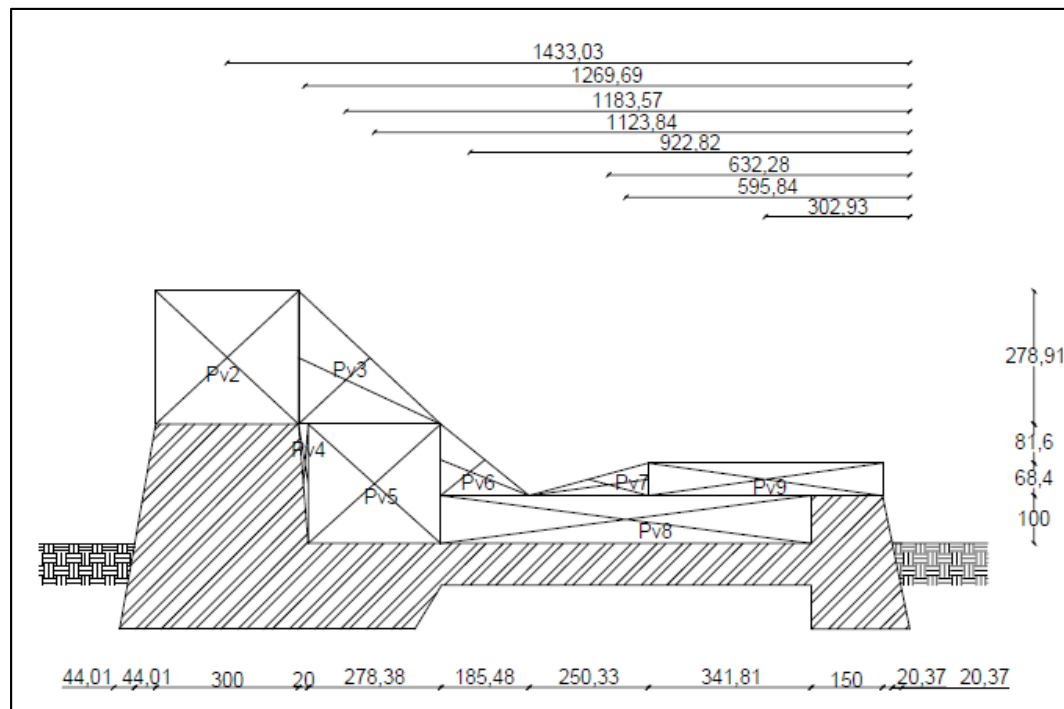
Contoh perhitungan momen :

$$\text{Momen } W1 = Fv \times L = 3,906 \cdot 16,083 = 62,821 \text{ ton.m}$$

$$\text{Momen } W2 = Fv \times L = 18 \cdot 14,330 = 257,945 \text{ ton.m}$$

b. Gaya Akibat Tekanan Air

Kedalaman permukaan air menyebabkan timbulnya tekanan pada tubuh bendung. Hal ini disebut juga sebagai tekanan hidrostatis. Tekanan air dapat diterjemahkan menjadi gaya vertikal dan gaya horizontal dalam perhitungan. Pada kondisi banjir, gaya akibat tekanan air dijabarkan sebagai berikut.



**Gambar 4.7** Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Banjir

**Tabel 4.13** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Banjir

| Notasi | n     | ht    | b     | yw    | Gaya (ton) |       | Lengan (m) | Momen (ton.m) |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|---------------|-------|
|        |       |       |       |       | V          | H     |            | V             | H     |
| Ph1    | 0.440 | 2.500 |       | 1.000 |            | 0.550 | 2.633      |               | 1.448 |
| Ph2    |       | 2.500 | 0.400 | 1.000 |            | 1.000 | 3.050      |               | 3.050 |
| Pv1    |       | 2.793 | 3.000 | 1.000 | 8.379      |       | 14.550     | 121.913       |       |
| Pv2    | 2.984 | 2.793 |       | 1.000 | 4.167      |       | 12.697     | 52.906        |       |
| Pv3    | 0.200 | 2.500 |       | 1.000 | 0.250      |       | 11.836     | 2.959         |       |
| Pv4    |       | 2.500 | 2.784 | 1.000 | 6.960      |       | 11.238     | 78.214        |       |
| Pv5    | 1.855 | 1.500 |       | 1.000 | 1.391      |       | 9.228      | 12.837        |       |
| Pv6    | 2.503 | 0.684 |       | 1.000 | 0.856      |       | 6.323      | 5.413         |       |
| Pv7    |       | 1.000 | 7.760 | 1.000 | 7.760      |       | 5.958      | 46.237        |       |
| Pv8    |       | 0.684 | 4.918 | 1.000 | 3.364      |       | 3.029      | 10.191        |       |
| Total  |       |       |       |       | 33.126     | 1.550 |            | 330.670       | 4.498 |

Contoh perhitungan gaya :

Gaya Horizontal

$$Ph1 = 0,5 \cdot n \cdot ht \cdot yw = 0,5 \cdot 0,440 \cdot 2,5 \cdot 1 = 0,550 \text{ ton}$$

Gaya Vertikal

$$Pv1 = b \cdot ht \cdot \gamma_w = 0,4 \cdot 2,5 \cdot 1 = 1 \text{ ton}$$

Contoh perhitungan momen :

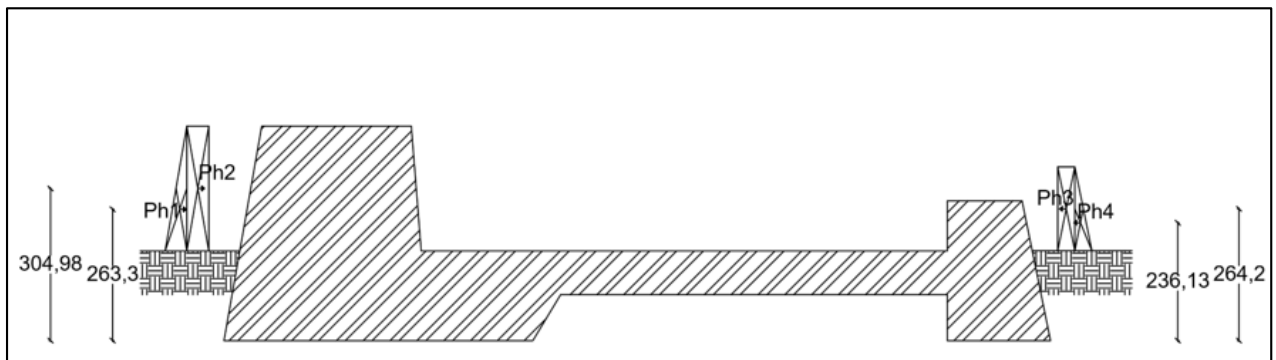
Momen Horizontal

$$\text{Momen } Ph1 = Fh \times L = 0,550 \cdot 2,633 = 1,448 \text{ ton.m}$$

Momen Vertikal

$$\text{Momen } Pv1 = Fv \times L = 1 \cdot 3,050 = 3,050 \text{ ton.m}$$

Sedangkan untuk kondisi muka air normal, gaya akibat tekanan air dijabarkan sebagai berikut :



**Gambar 4.8** Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Normal



**Tabel 4.14** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Air Kondisi Muka Air Normal

| Notasi | n     | ht    | b     | yw    | Gaya (ton) |       | Lengan (m) | Momen (ton.m) |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|---------------|-------|
|        |       |       |       |       | V          | H     |            | V             | H     |
| Ph1    | 0,440 | 2,500 |       | 1,000 |            | 0,550 | 2,633      |               | 1,448 |
| Ph2    |       | 2,500 | 0,440 | 1,000 |            | 1,100 | 3,050      |               | 3,355 |
| Ph3    | 0,440 | 1,684 |       | 1,000 |            | 0,370 | 2,642      |               | 0,979 |
| Ph4    |       | 1,684 | 0,440 | 1,000 |            | 0,741 | 2,361      |               | 1,750 |
| Total  |       |       |       |       |            | 2,761 |            |               | 7,531 |

Contoh perhitungan gaya :

$$Ph1 = 0,5 \cdot n \cdot ht \cdot yw = 0,5 \cdot 0,440 \cdot 2,5 \cdot 1 = 0,55 \text{ ton}$$

$$Ph2 = b \cdot ht \cdot yw = 0,440 \cdot 2,5 \cdot 1 = 1,1 \text{ ton}$$

Contoh perhitungan momen :

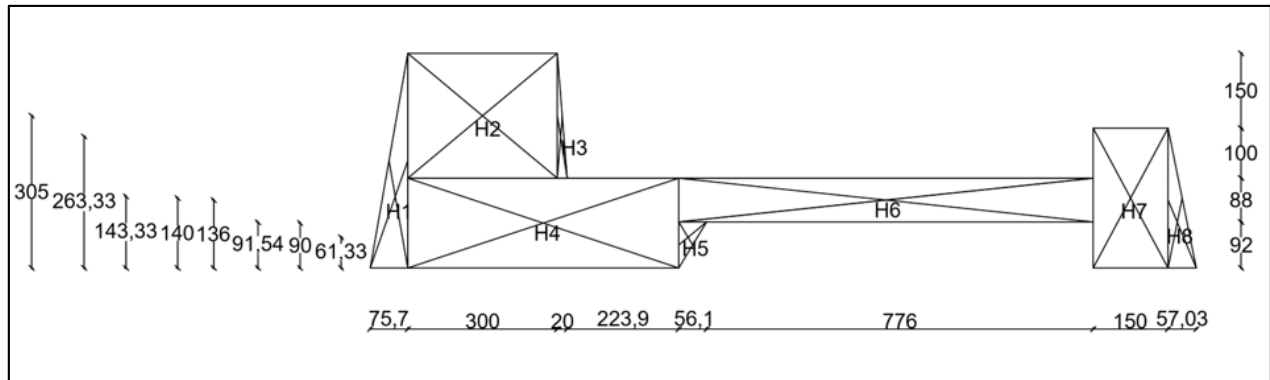
$$\text{Momen } Ph1 = Fh \times L = 0,55 \cdot 2,633 = 1,448 \text{ ton.m}$$

$$\text{Momen } Ph2 = Fh \times L = 1,1 \cdot 3,050 = 3,355 \text{ ton.m}$$

### c. Gaya Akibat Beban Gempa

Indonesia memiliki topografi yang berbeda-beda yang menyebabkan faktor gempa juga berbeda untuk setiap daerahnya. Gaya gempa harus diperhitungkan dalam suatu bangunan agar nantinya bangunan tetap aman berdiri tegak ketika adanya gempa.

Perhitungan gaya akibat beban gempa pada kondisi muka air banjir maupun normal dijabarkan sebagai berikut :



**Gambar 4.9** Gaya Akibat Beban Gempa Kondisi Muka Air Banjir dan Normal

**Tabel 4.15** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Beban Gempa Kondisi Muka Air Banjir dan Normal

| Notasi | k     | W      | Gaya  | Lengan | Momen   |
|--------|-------|--------|-------|--------|---------|
|        |       | (ton)  | (ton) | (m)    | (ton.m) |
| H1     | 0,108 | 3,906  | 0,420 | 1,433  | 0,603   |
| H2     | 0,108 | 18,000 | 1,938 | 3,050  | 5,910   |
| H3     | 0,108 | 0,600  | 0,065 | 2,633  | 0,170   |
| H4     | 0,108 | 23,496 | 2,529 | 0,900  | 2,276   |
| H5     | 0,108 | 6,231  | 0,671 | 0,613  | 0,411   |
| H6     | 0,108 | 16,389 | 1,764 | 1,360  | 2,399   |
| H7     | 0,108 | 10,080 | 1,085 | 1,400  | 1,519   |
| H8     | 0,108 | 1,925  | 0,207 | 0,915  | 0,190   |
| Total  |       |        | 8,679 |        | 13,478  |

Data-data yang dapat diambil sesuai Pd-t-14-2004-A yaitu :

Koefisien zona gempa ( $Z$ ) = 0,60 → Kota Semarang

Percepatan dasar gempa ( $A_c$ ) = 160 cm/s → T 50 tahun

Faktor koreksi tanah ( $v$ ) = 1,1 → Alluvium

Maka koefisien gempa,

$$A_d = Z \cdot A_c \cdot v = 0,60 \cdot 160 \cdot 1,1 = 105,60 \text{ cm/s}$$

$$K = \frac{A_d}{g} = \frac{(105,60/100)}{9,81} = 0,108$$

Contoh perhitungan gaya :

$$H1 = k \times W1 = 0,108 \cdot 3,906 = 0,60 \text{ ton}$$

$$H2 = k \times W2 = 0,108 \cdot 18 = 1,938 \text{ ton}$$

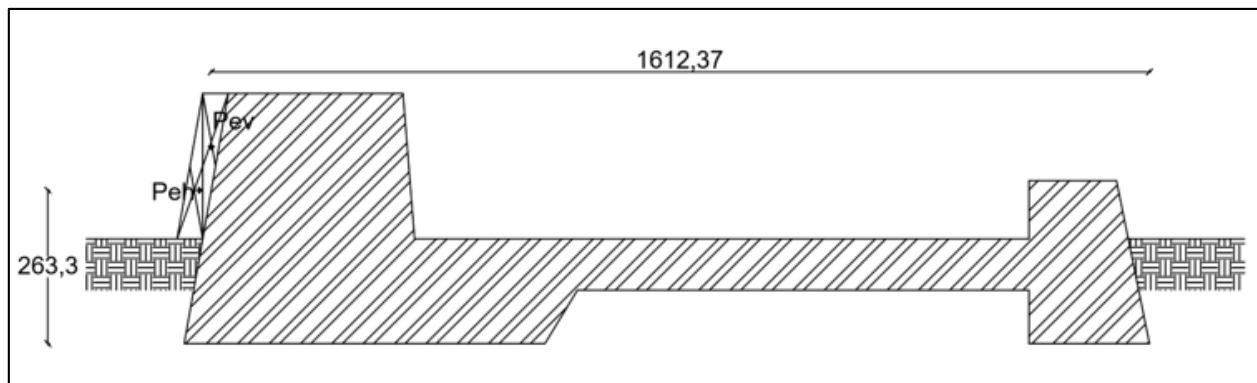
Contoh perhitungan momen :

$$\text{Momen } H1 = Fh \times L = 0,60 \cdot 1,433 = 0,603 \text{ ton.m}$$

$$\text{Momen } H2 = Fh \times L = 1,938 \cdot 3,050 = 5,910 \text{ ton.m}$$

d. Gaya Akibat Tekanan Sedimen

Kedalaman permukaan air selain mengakibatkan adanya tekanan air juga menyebabkan endapan sedimen pada tubuh bendung. Maka dari itu, gaya akibat tekanan sedimen harus diperhitungkan. Pada kondisi banjir dan normal, hasil perhitungannya sebagai berikut :



**Gambar 4.10** Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Muka Air Banjir dan

Normal

**Tabel 4.16** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Muka Air Normal dan Banjir

| Notasi | m     | ht    | b | $\gamma_{sub}$ | Gaya (ton) |       | Lengan (m) | Momen (ton.m) |       |
|--------|-------|-------|---|----------------|------------|-------|------------|---------------|-------|
|        |       |       |   |                | V          | H     |            | V             | H     |
| Peh    | 0,440 | 2,500 |   | 1,000          |            | 0,558 | 2,633      |               | 1,469 |
| Pev    | 0,440 | 2,500 |   | 1,000          | 0,558      |       | 17,064     | 9,522         |       |

Sudut geser dalam ( $\emptyset$ ) =  $25^\circ \rightarrow$  berdasarkan tanah setempat

Sehingga koefisien tanah lumpur ( $K_a$ ),

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = \frac{1 - \sin 25^\circ}{1 + \sin 25^\circ} = 0,406$$

Contoh perhitungan gaya :

Gaya Horizontal

$$P_{eh} = 0,5 \cdot m \cdot ht^2 \cdot \gamma_{sub} \cdot K_a = 0,5 \cdot 0,440 \cdot 2,5^2 \cdot 1 = 0,558 \text{ ton}$$

Gaya Vertikal

$$P_{ev} = 0,5 \cdot m \cdot ht^2 \cdot \gamma_{sub} \cdot K_a = 0,5 \cdot 0,440 \cdot 2,5^2 \cdot 1 = 0,558 \text{ ton}$$

Contoh perhitungan momen :

Momen Horizontal

$$Momen P_{eh} = F_h \times L = 0,558 \cdot 2,633 = 1,46 \text{ ton.m}$$

Momen Vertikal

$$Momen P_{ev} = F_v \times L = 0,558 \cdot 17,064 = 9,52 \text{ ton.m}$$

Sedangkan ketika kondisi gempa berlangsung, maka gaya tekanan sedimen harus dikalikan dengan koefisien gempa ( $k$ ). Perhitungannya adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.17** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Sedimen Kondisi Gempa

| Notasi | k     | Gaya (ton) |       | Lengan | Momen (ton.m) |       |
|--------|-------|------------|-------|--------|---------------|-------|
|        |       | V          | H     | (m)    | V             | H     |
| Peh    | 0,108 |            | 0,060 | 2,633  |               | 0,017 |
| Pev    | 0,108 | 0,060      |       | 17,064 | 0,110         |       |

Contoh perhitungan gaya :

Gaya Horizontal

$$P_{eh} = k \cdot W P_{eh} = 0,108 \cdot 0,558 = 0,060 \text{ ton}$$

Gaya Vertikal

$$P_{ev} = k \cdot W P_{ev} = 0,108 \cdot 0,558 = 0,060 \text{ ton}$$

Contoh perhitungan momen :

Momen Horizontal

$$Momen P_{eh} = F_h \times L = 0,060 \cdot 2,633 = 0,017 \text{ ton.m}$$

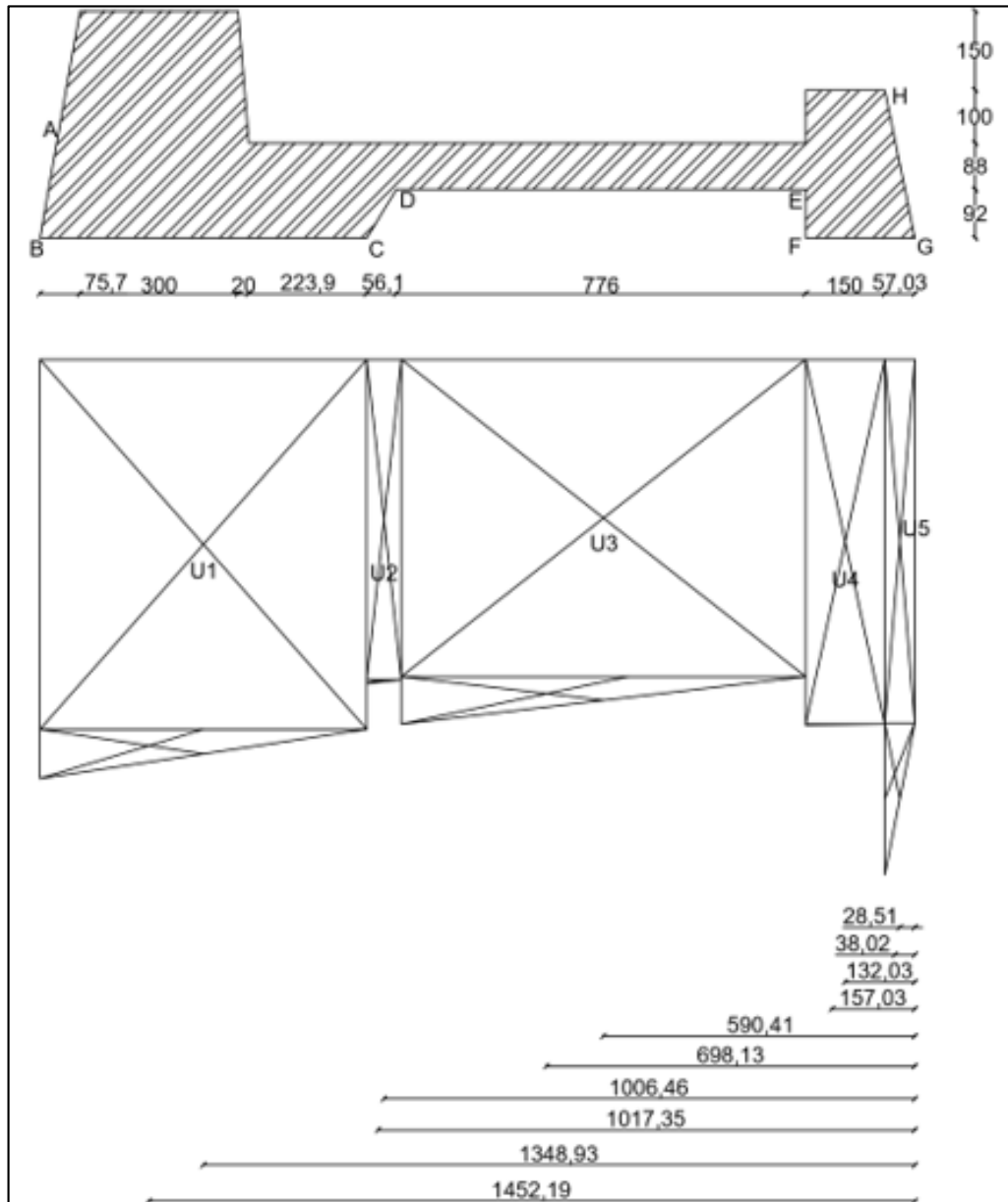
Momen Vertikal

$$Momen P_{ev} = F_v \times L = 0,060 \cdot 17,064 = 0,11 \text{ ton.m}$$

e. Gaya Akibat Tekanan *Uplift*

Pada bendung, tekanan air bekerja baik di permukaan maupun tubuh bendung itu sendiri, sehingga menyebabkan adanya gaya tekan ke atas yang

berakibat berat efektif pada bangunan berkurang. Hasil perhitungan gaya *uplift* kondisi muka air banjir dan normal dijabarkan sebagai berikut.



**Gambar 4.11** Gaya Akibat Tekanan Uplift Kondisi Muka Air Banjir dan Muka

Air Normal

**Tabel 4.18 Creep Line**

| Titik | Line | Lx     | Hx    | Px    |
|-------|------|--------|-------|-------|
| A     | -    | -      | -     | -     |
| B     | A-B  | 1,800  | 7,093 | 7,049 |
| C     | B-C  | 3,865  | 7,093 | 6,998 |
| D     | C-D  | 4,426  | 6,173 | 6,064 |
| E     | D-E  | 7,013  | 6,173 | 6,001 |
| F     | E-F  | 7,933  | 7,093 | 6,898 |
| G     | F-G  | 8,623  | 7,093 | 6,881 |
| H     | G-H  | 11,423 | 4,293 | 4,012 |

$$\Delta H = h_3 - h_j = 2,793 - 1,684 = 1,109 \text{ m}$$

$$L = 45,084 \text{ m} \rightarrow \text{kontrol rembesan}$$

Kemudian gaya angkat pada titik x digunakan rumus sebagai berikut :

$$Px = Hx \cdot \frac{Lx}{L} \cdot \Delta H$$

Keterangan :

Px = Gaya angkat pada titik x (ton)

Hx = Tinggi tekanan air (m)

Lx = Panjang *creep line* sampai titik x (m)

L = Panjang *creep line* (m)

$\Delta H$  = Beda tinggi air (m)

Contoh perhitungan Px, pada titik C :

$$Px = Hx \cdot \frac{Lx}{L} \cdot \Delta H = 7,093 \cdot \frac{3,865}{45,084} \cdot 1,109 = 6,998 \text{ ton}$$

**Tabel 4.19** Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan *Uplift* Kondisi Muka Air Banjir

| Notasi | Luas x Tekanan |       |       | Gaya (ton) | Lengan | Momen (ton.m) |
|--------|----------------|-------|-------|------------|--------|---------------|
|        | 0.5            | b2    | h     | V          | (m)    | V             |
| U1     |                | 6,998 | 6,196 | 43,359     | 13,489 | 584,886       |
|        | 0,500          | 0,934 | 6,196 | 5,786      | 14,522 | 84,021        |
| U2     |                | 6,064 | 0,561 | 3,402      | 10,065 | 34,240        |
|        | 0,500          | 0,064 | 0,561 | 0,036      | 10,174 | 0,363         |
| U3     |                | 6,001 | 7,760 | 46,564     | 5,904  | 274,919       |
|        | 0,500          | 0,897 | 7,760 | 6,964      | 6,981  | 48,615        |
| U4     |                | 6,898 | 1,500 | 10,347     | 1,320  | 13,661        |
|        | 0,500          | 0,017 | 1,500 | 0,013      | 1,570  | 0,020         |
| U5     |                | 6,881 | 0,570 | 3,924      | 0,285  | 1,119         |
|        | 0,500          | 2,869 | 0,570 | 0,818      | 0,380  | 0,311         |
| Total  |                |       |       | 121,212    |        | 1042,155      |

Contoh perhitungan gaya :

$$U1 = b2 \cdot h = 6,998 \cdot 6,196 = 43,359 \text{ ton}$$

$$U1 = 0,5 \cdot b2 \cdot h = 0,5 \cdot 0,934 \cdot 6,196 = 5,786 \text{ ton}$$

Contoh perhitungan momen :

$$\text{Momen } U1 = Fv \times L = 43,359 \cdot 13,489 = 584,886 \text{ ton.m}$$

$$\text{Momen } U1 = Fv \times L = 5,786 \cdot 14,522 = 84,021 \text{ ton.m}$$

f. *Resume* Gaya-Gaya

Setelah perhitungan gaya-gaya, resume gaya-gaya dilakukan untuk mengelompokkan gaya yang bekerja kedalam 4 kondisi yaitu, kondisi muka air banjir, kondisi muka air normal, kondisi gempa (MAB), kondisi gempa (MAN).

1) Kondisi Muka Air Banjir



Pada kondisi muka air banjir gaya-gaya yang bekerja pada tubuh *groundsill* adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.20** Resume Gaya yang Bekerja Kondisi Muka Banjir

| No.  | Gaya                  | Gaya (ton) |       | Momen (ton.m) |       |
|--|-----------------------|------------|-------|---------------|-------|
|  |                       | V          | H     | V             | H     |
| 1  | Berat Sendiri         | -73.091    |       | -750.278      |       |
| 2  | Tekanan Air           | -33.126    | 1.550 | -330.670      | 4.498 |
| 3  | Tekanan <i>Uplift</i> | 121.212    |       | 1042.155      |       |
| 4  | Tekanan Sedimen       | -0.558     | 0.558 | -9.522        | 1.469 |
| Total  |                       | 14.437     | 2.108 | 48.316        | 5.968 |
| Keterangan : tanda (+) dan (-) menunjukkan arah gaya dan momen |                       |            |       |               |       |

### 2) Kondisi Muka Air Normal

Pada kondisi muka air normal gaya-gaya yang bekerja pada tubuh *groundsill* adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.21** Resume Gaya yang Bekerja Kondisi Muka Normal

| No.  | Gaya                  | Gaya (ton) |       | Momen (ton.m) |       |
|--|-----------------------|------------|-------|---------------|-------|
|  |                       | V          | H     | V             | H     |
| 1  | Berat Sendiri         | -73.091    |       | -750.278      |       |
| 2  | Tekanan Air           |            | 2.761 |               | 7.531 |
| 3  | Tekanan <i>Uplift</i> | 121.212    |       | 1042.155      |       |
| 4  | Tekanan Sedimen       | -0.558     | 0.558 | -9.522        | 1.469 |
| Total  |                       | 47.563     | 3.319 | 282.354       | 9.001 |
| Keterangan : tanda (+) dan (-) menunjukkan arah gaya dan momen |                       |            |       |               |       |

### 3) Kondisi Gempa

Pada kondisi gempa gaya-gaya yang bekerja pada tubuh *groundsill* adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.22** Resume Gaya yang Bekerja Kondisi Gempa

| No.  | Gaya                  | Gaya (ton) |       | Momen (ton.m) |        |
|--|-----------------------|------------|-------|---------------|--------|
|  |                       | V          | H     | V             | H      |
| 1  | Berat Sendiri         | -73.091    |       | -750.278      |        |
| 2  | Tekanan <i>Uplift</i> | 121.212    |       | 1042.155      |        |
| 3  | Gempa                 |            | 8.679 |               | 13.478 |
| 4  | Tekanan Sedimen       | -0.060     | 0.060 | -0.110        | 0.017  |
| Total  |                       | 48.061     | 8.739 | 291.766       | 13.495 |
| Keterangan : tanda (+) dan (-) menunjukkan arah gaya dan momen |                       |            |       |               |        |

#### 4.9 Hasil Analisis Stabilitas *Groundsill*

##### a. Kontrol Terhadap Guling

##### 1) Kondisi Muka Air Banjir

Perhitungan faktor keamanan terhadap guling pada kondisi muka air banjir adalah sebagai berikut :

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} > 1,5$$

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} = \frac{48.316}{5.968} = 8,096$$

$$SF_{guling} = 8,096 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya guling pada kondisi muka air banjir.

##### 2) Kondisi Muka Air Normal

Perhitungan faktor keamanan terhadap guling pada kondisi muka air normal adalah sebagai berikut :

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} > 1,5$$

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} = \frac{282,384}{9,001} = 31,370$$

$$SF_{guling} = 31,370 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya guling pada kondisi muka air normal.

### 3) Kondisi Gempa

Perhitungan faktor keamanan terhadap guling pada kondisi gempa adalah sebagai berikut :

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} > 1,5$$

$$SF_{guling} = \frac{\Sigma M_V}{\Sigma M_H} = \frac{291,766}{13,495} = 21,620$$

$$SF_{guling} = 21,620 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya guling pada kondisi gempa.

## b. Kontrol Terhadap Geser

### 1) Kondisi Muka Air Banjir

Perhitungan faktor keamanan terhadap geser pada kondisi muka air banjir adalah sebagai berikut :

Koefisien geser ( $f$ ) = 0,5 → Berdasarkan tanah setempat

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \Sigma V}{\Sigma H} > 1,5$$

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \Sigma V}{\Sigma H} = \frac{0,5 \cdot 14,437}{2,108} = 3,424$$

$$SF_{geser} = 3,424 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya geser pada kondisi muka air banjir.

### 2) Kondisi Muka Air Normal

Perhitungan faktor keamanan terhadap geser pada kondisi muka air normal adalah sebagai berikut :

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5$$

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} = \frac{0,5 \cdot 47,563}{3,319} = 7,164$$

$$SF_{geser} = 7,164 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya geser pada kondisi muka air normal.

### 3) Kondisi Gempa

Perhitungan faktor keamanan terhadap geser pada kondisi gempa adalah sebagai berikut :

$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} > 1,5$$

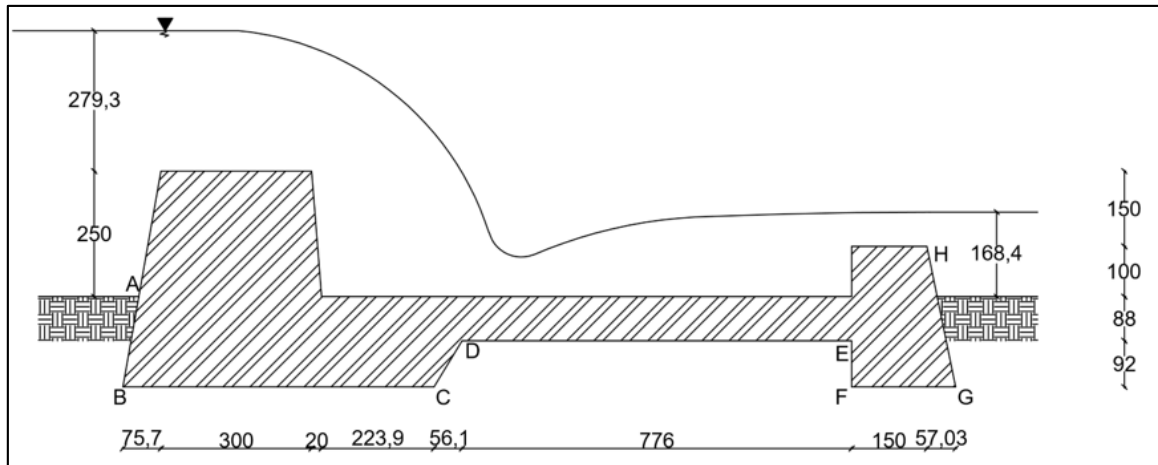
$$SF_{geser} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} = \frac{0,5 \cdot 48,061}{8,739} = 2,750$$

$$SF_{geser} = 2,750 > 1,5$$

Maka dapat disimpulkan bahwa *groundsill* aman terhadap bahaya geser pada kondisi gempa.

### c. Kontrol Terhadap Rembesan

Perhitungan panjang rembesan atau *creep line* pada *groundsill* dijabarkan sebagai berikut :



**Gambar 4.12** Panjang Rembesan (*Creep Line*)

**Tabel 4.23** Hasil Panjang Rembesan (*Creep Line*)

| Titik | Line | Panjang Rembesan |       |       | LX     |
|-------|------|------------------|-------|-------|--------|
|       |      | LV               | LH    | LH/3  |        |
| 1     | 2    | 3                | 4     | 5     | 6      |
| A     | -    | -                | -     | -     | -      |
| B     | A-B  | 1,800            | -     | -     | 1,800  |
| C     | B-C  | -                | 6,196 | 2,065 | 3,865  |
| D     | C-D  | 0,561            | -     | -     | 4,426  |
| E     | D-E  | -                | 7,760 | 2,587 | 7,013  |
| F     | E-F  | 0,920            | -     | -     | 7,933  |
| G     | F-G  | -                | 2,070 | 0,690 | 8,623  |
| H     | G-H  | 2,800            | -     | -     | 11,423 |
| Total |      | 6,081            |       | 5,342 | 45,084 |

$$CL = \left[ \sum L_V + \left( \frac{1}{3} L_h \right) \right] / H$$

$$CL = [6,081 + 5,342] / 2,5 = 4,569$$

Syarat kontrol rembesan adalah nilai minimum rembesan (C) < panjang rembesan (CL). Sesuai **Tabel 2.29** nilai C diambil sebesar 2,5. Maka, 2,5 < 4,569, *ground sill* aman terhadap bahaya rembesan.

d. Kontrol Terhadap Daya Dukung Tanah

Berdasarkan **Tabel 2.30** untuk sudut geser dalam ( $\phi$ ) =  $25^\circ$  nilai  $N_c = 25,1$ ,  $N_q = 12,7$  dan  $N_\gamma = 9,7$ . Maka perhitungan daya dukung *ultimate* tanah ( $Q_{ult}$ ) adalah sebagai berikut :

$$\text{Nilai kohesi tanah (C)} = 0$$

$$\text{Lebar dasar main dam (b2)} = 16,587 \text{ m}$$

$$\text{Berat isi sedimen } (\gamma) = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Kedalaman pondasi (hp)} = 1,8 \text{ m}$$

$$Q_{ult} = (1,3 \times C \times N_c) + (hp \times \gamma \times N_q) + (0,4 \times b2 \times \gamma \times N_\gamma)$$

$$Q_{ult} = (1,3 \times 0 \times 25,1) + (1,8 \times 1 \times 12,7) + (0,4 \times 16,587 \times 1 \times 9,7)$$

$$Q_{ult} = 87,219 \text{ t/m}^2$$

Beban maksimal yang diijinkan ( $Q_{ijin}$ ) dihitung sebagai berikut :

$$SF_{guling} = 3 \rightarrow \text{diambil faktor aman}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF_{guling}} = \frac{87,219}{3} = 29,073 \text{ t/m}^2$$

#### 1) Kondisi Muka Air Banjir

Perhitungan eksentrisitas gaya, tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada struktur pada saat kondisi muka air banjir dijabarkan sebagai berikut :

Eksentrisitas,

$$e = X - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{M_v - M_g}{\sum V} - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{48,316 - 5,968}{14,437} - \frac{16,587}{2} < \frac{16,587}{6}$$

$$e = 2,633 \text{ m} < 2,765 \text{ m}$$

Qmax,

$$Q_{max} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$

$$Q_{max} = \left(\frac{14,437}{16,587}\right) \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 2,633}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{max} = 1,699 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Qmin,

$$Q_{min} = \left(\frac{\sum V}{B}\right) \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$

$$Q_{min} = \left(\frac{14,437}{16,587}\right) \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 2,633}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{min} = 0,041 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Maka *groundsill* dalam kondisi muka air banjir aman terhadap faktor daya dukung tanah.

## 2) Kondisi Muka Air Normal

Perhitungan eksentrisitas gaya, tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada struktur pada saat kondisi muka air normal dijabarkan sebagai berikut :

Eksentrisitas,

$$e = X - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{M_v - M_g}{\sum V} - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{282,354 - 9,001}{47,563} - \frac{16,587}{2} < \frac{16,587}{6}$$

$$e = 2,546 \text{ m} < 2,765 \text{ m}$$

Qmax,

$$Q_{max} = \left(\frac{\Sigma V}{B}\right) \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$

$$Q_{max} = \left(\frac{47,563}{16,587}\right) \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 2,546}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{max} = 5,509 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Qmin,

$$Q_{min} = \left(\frac{\Sigma V}{B}\right) \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$

$$Q_{min} = \left(\frac{47,563}{16,587}\right) \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 2,546}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{min} = 0,226 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Maka *groundsill* dalam kondisi muka air normal aman terhadap faktor daya dukung tanah.

### 3) Kondisi Gempa

Perhitungan eksentrisitas gaya, tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada struktur pada saat kondisi gempa dijabarkan sebagai berikut :

Eksentrisitas,

$$e = X - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{M_v - M_g}{\Sigma V} - \frac{B}{2} < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{291,766 - 13,495}{48,061} - \frac{16,587}{2} < \frac{16,587}{6}$$

$$e = 2,504 \text{ m} < 2,765 \text{ m}$$

Qmax,

$$Q_{max} = \left(\frac{\Sigma V}{B}\right) \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$



$$Q_{max} = \left(\frac{48,061}{16,587}\right) \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 2,504}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{max} = 5,522 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Qmin,

$$Q_{min} = \left(\frac{\Sigma V}{B}\right) \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) < Q_{ijin}$$

$$Q_{min} = \left(\frac{48,061}{16,587}\right) \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 2,504}{16,587}\right) < 29,073$$

$$Q_{min} = 0,273 \text{ t/m}^2 < 29,073 \text{ t/m}^2$$

Maka *groundsill* dalam kondisi gempa aman terhadap faktor daya dukung tanah.

## e. Resume Kontrol Stabilitas Groundsill

Tabel 4.24 Resume Kontrol Stabilitas Groundsill

| No.               | Kontrol Stabilitas | Muka Air Banjir       |                      | Muka Air Normal        |                      | Gempa                  |                      |
|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|                   |                    | Hasil Perhitungan     | Keterangan           | Parameter              | Keterangan           | Parameter              | Keterangan           |
| 1                 | Guling             | $\sum M_V = 48.316$   | $SF_{guling} > 1,5$  | $\sum M_V = 282.354$   | $SF_{guling} > 1,5$  | $\sum M_V = 291.766$   | $SF_{guling} > 1,5$  |
|                   |                    | $\sum M_H = 5.968$    | $8,096 > 1,5$        | $\sum M_H = 9.001$     | $31.370 > 1,5$       | $\sum M_H = 13.495$    | $21.620 > 1,5$       |
|                   |                    | $SF_{guling} = 8.096$ | Memenuhi             | $SF_{guling} = 31.370$ | Memenuhi             | $SF_{guling} = 21.620$ | Memenuhi             |
| 2                 | Geser              | $\sum V = 14.437$     | $SF_{geser} > 1,5$   | $\sum V = 47.563$      | $SF_{geser} > 1,5$   | $\sum V = 48.061$      | $SF_{geser} > 1,5$   |
|                   |                    | $\sum H = 2.108$      | $3,424 > 1,5$        | $\sum H = 3.319$       | $7.164 > 1,5$        | $\sum H = 8.739$       | $2.750 > 1,5$        |
|                   |                    | $Sf_{geser} = 3.424$  | Memenuhi             | $Sf_{geser} = 7.164$   | Memenuhi             | $Sf_{geser} = 2.750$   | Memenuhi             |
| 3                 | Rembesan           | $\sum L_V = 6.081$    | $CL > C$             | $\sum L_V = 6.081$     | $CL > C$             | $\sum L_V = 6.081$     | $CL > C$             |
|                   |                    | $\sum 1/3L_H = 5.342$ | $4,569 > 2,5$        | $\sum 1/3L_H = 5.342$  | $4,569 > 2,5$        | $\sum 1/3L_H = 5.342$  | $4,569 > 2,5$        |
|                   |                    | $C = 2,5$             | Memenuhi             | $C = 2,5$              | Memenuhi             | $C = 2,5$              | Memenuhi             |
|                   |                    | $CL = 4.569$          |                      | $CL = 4.569$           |                      | $CL = 4.569$           |                      |
| 4                 | Eksentrisitas      | $B = 16.587$          | $e < B/6$            | $B = 16.587$           | $e < B/6$            | $B = 16.587$           | $e < B/6$            |
|                   |                    | $\sum M_V = 48.316$   | $e < 16,587/6$       | $\sum M_V = 282.354$   | $e < 16,587/6$       | $\sum M_V = 291.766$   | $e < 16,587/6$       |
|                   |                    | $\sum M_H = 5.968$    | $2,633 < 2,765$      | $\sum M_H = 9.001$     | $2.546 < 2,765$      | $\sum M_H = 13.495$    | $2.504 < 2,765$      |
|                   |                    | $\sum V = 14.437$     | Memenuhi             | $\sum V = 47.563$      | Memenuhi             | $\sum V = 48.061$      | Memenuhi             |
|                   |                    | $e = 2.633$           |                      | $e = 2.546$            |                      | $e = 2.504$            |                      |
| 4                 | Daya Dukung Tanah  | $C = 0.000$           | $Q_{max} < Q_{ijin}$ | $C = 0.000$            | $Q_{max} < Q_{ijin}$ | $C = 0.000$            | $Q_{max} < Q_{ijin}$ |
|                   |                    | $\phi = 25.000$       | $1.699 < 29,073$     | $\phi = 25.000$        | $5.509 < 29,073$     | $\phi = 25.000$        | $5.522 < 29,073$     |
|                   |                    | $N_c = 25.100$        | $Q_{min} < Q_{ijin}$ | $N_c = 25.100$         | $Q_{min} < Q_{ijin}$ | $N_c = 25.100$         | $Q_{min} < Q_{ijin}$ |
|                   |                    | $N_q = 12.700$        | $0.041 < 29,073$     | $N_q = 12.700$         | $0.226 < 29,073$     | $N_q = 12.700$         | $0.273 < 29,073$     |
|                   |                    | $N_\gamma = 9.700$    |                      | $N_\gamma = 9.700$     |                      | $N_\gamma = 9.700$     |                      |
|                   |                    | $Q_{ult} = 87.219$    |                      | $Q_{ult} = 87.219$     |                      | $Q_{ult} = 87.219$     |                      |
|                   |                    | $Q_{ijin} = 29.073$   | Memenuhi             | $Q_{ijin} = 29.073$    | Memenuhi             | $Q_{ijin} = 29.073$    | Memenuhi             |
|                   |                    | $Q_{max} = 1.699$     |                      | $Q_{max} = 5.509$      |                      | $Q_{max} = 5.522$      |                      |
| $Q_{min} = 0.041$ |                    | $Q_{min} = 0.226$     |                      | $Q_{min} = 0.273$      |                      |                        |                      |

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan perhitungan hasil perencanaan *groundsill* pada hilir Jembatan Tinjomoyo, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Curah hujan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun pada DAS Garang Jembatan Tinjomoyo pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT berturut-turut adalah 94.180 mm, 120.605 mm, 138.291 mm, 160.857 mm, 177.710 mm;
- b. Debit banjir rancangan periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun dengan menggunakan HSS *Nakayasu* berturut-turut adalah 305.522 m<sup>3</sup>/s, 390.742 m<sup>3</sup>/s, 447.783 m<sup>3</sup>/s, 520.560 m<sup>3</sup>/s dan 574.912 m<sup>3</sup>/s;
- c. Dimensi *groundsill* di hilir Jembatan Tinjomoyo DAS Garang pada koordinat  $7^{\circ} 1' 40,444''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 7,999''$  BT direncanakan memiliki beberapa kriteria antara lain, lebar mercu pelimpah 3 m, tinggi mercu pelimpah 2,5 m, tebal kolam olak 0,8 m, panjang kolam olak 12,26 m, tinggi *sub-dam* 1 m, dan kedalaman pondasi 1,8 m dengan menggunakan debit banjir rancangan periode ulang 50 tahun yaitu 574.912 m<sup>3</sup>/s;
- d. Stabilitas *groundsill* terhadap bahaya guling, geser, rembesan (piping), dan terhadap faktor daya dukung tanah antara lain :

- 1) Bahaya guling dengan syarat  $SF_{guling} > 1,5$  saat kondisi banjir  $8,096 > 1,5$ , saat kondisi normal  $31,370 > 1,5$ , saat kondisi gempa  $21,620 > 1,5$ . Desain *groundsill* aman terhadap bahaya guling;
- 2) Bahaya geser dengan syarat  $SF_{geser} > 1,5$  saat kondisi banjir  $3,424 > 1,5$ , saat kondisi normal  $7,164 > 1,5$ , saat kondisi gempa  $2,750 > 1,5$ . Desain *groundsill* aman terhadap bahaya geser;
- 3) Bahaya rembesan (*piping*) dengan syarat  $CL > C$  didapatkan hasil sebesar  $4,569 > 2,5$ . Desain *groundsill* aman terhadap bahaya rembesan;
- 4) Faktor daya dukung tanah dengan syarat  $Q_{max} < Q_{ijin}$  dan  $Q_{min} < Q_{ijin}$  saat kondisi banjir  $1,699 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{max}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ) dan  $0,041 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{min}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ), saat kondisi normal  $5,509 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{max}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ) dan  $0,226 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{min}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ), saat kondisi gempa  $5,522 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{max}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ) dan  $0,73 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{min}$ )  $< 29.073 \text{ t/m}^2$  ( $Q_{ijin}$ ). Desain *groundsill* aman terhadap daya dukung tanah.

## 5.2 Saran

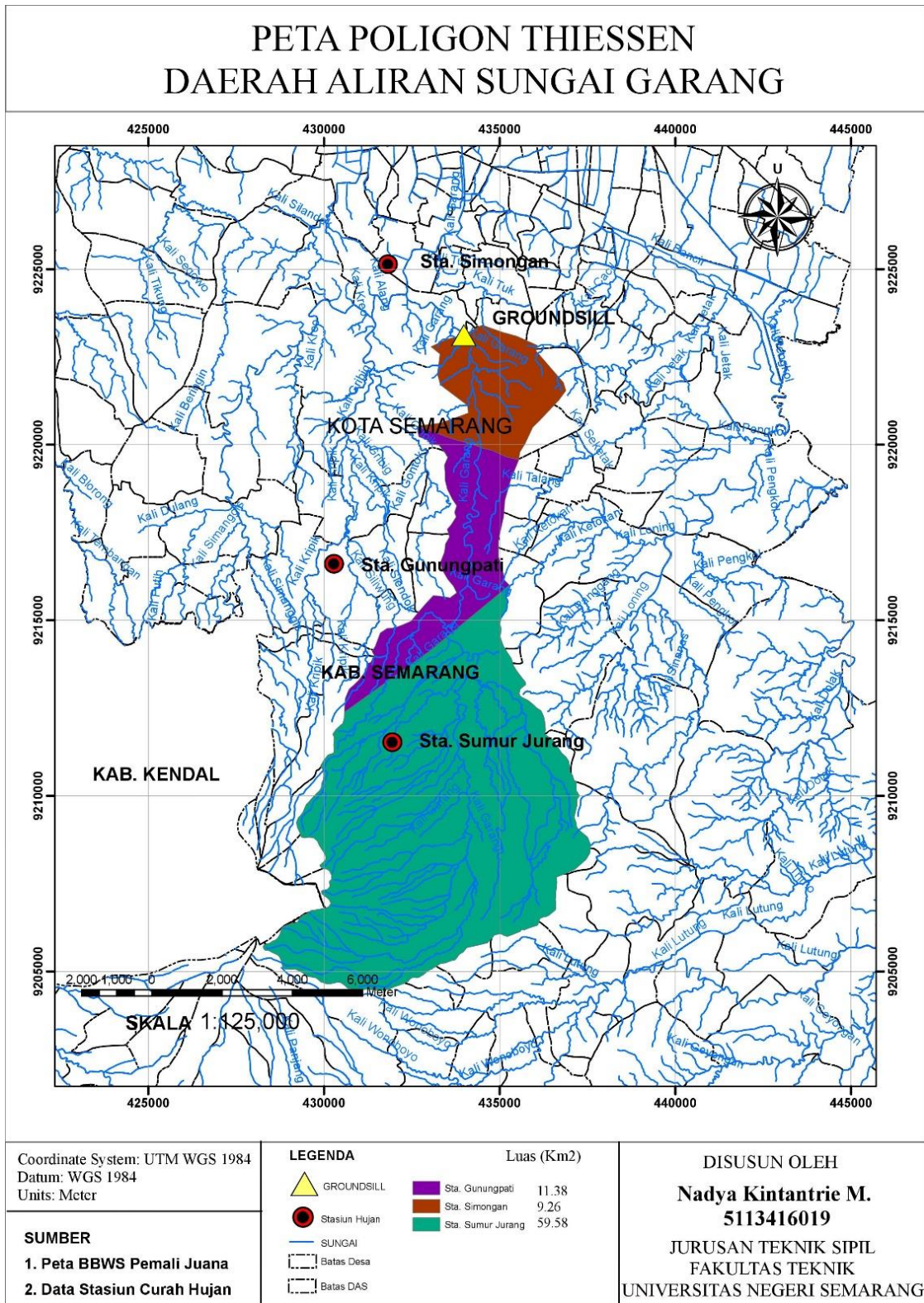
- a. Dimensi *groundsill* pada hilir Jembatan Tinjomoyo DAS Garang sebaiknya dibangun dengan tinggi mercu setinggi 2,5 m, lebar mercu pelimpah selebar 3 m, tebal kolam olak setebal 0,8 m, panjang kolam olak sepanjang 12,26 m, tinggi *sub-dam* setinggi 1 m, dan kedalaman pondasi sedalam 1,8 m;
- b. Perlu dilakukan studi lanjut mengenai keadaan geologis pada sekitar hilir Jembatan Tinjomoyo Semarang untuk mengetahui lapisan dan material penyusun tanah dalam rangka efisiensi pembangunan *groundsill*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Christady Hardiyatmo, Hary. 1996. *Teknik Pondasi 1*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ditjen Sumber Daya Air. 2013. *KP-06 Parameter Bangunan*. Jakarta : Ditjen Sumber Daya Air.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2004. *PD T-12-2004 A. Perencanaan Teknis Bendung Pengendali Dasar Sungai*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- \_\_\_\_\_. 2018. *Perencanaan Dimensi Bangunan Sabo*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum.
- \_\_\_\_\_. 2018. *Perencanaan Struktur Bangunan Sabo*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Margini S.F., Ansori M.B., dan Nusantara D. A. D. 2017. *Analisa Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Dan ITB Pada Sub DAS Konto, Jawa Timur*. Jurnal Teknik Hidroteknik, Vol. 2, No.1, Hal. 41 – 45.
- Prambudi, Yudistiro. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengendali Sedimen Pada Sungai Sampean*. Jember: Universitas Jember.
- Sarsin. 2012. *Kontrol Stabilitas Groundsill Bantar Di Kali Progo Kabupaten Bantul*. Yogya: Universitas Yogyakarta.
- Sebayang, I.S.D. dan Andina, T.R. 2019. *Perencanaan Dimensi Hidrolis Bangunan Pengendali Groundsill Pada Sungai Ulu Gadut, Sumatera Barat*. Jurnal Kajian Teknik Sipil, Vol. 4, No. 1, Hal 1-9.
- Soemarto, C. D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: Nova.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Sutopo, Yeri. 2006. *Pengendalian Banjir Sungai Garang Melalui Upaya Peningkatan Elevasi Mercu Tanggul, Luas Penampang Basah Sungai dan Pengurangan Debit Banjir*, Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, No. 2, Vol. 8, Hal. 103 – 114.
- \_\_\_\_\_, and A.E. Saputro. 2020. *Groundsill Stability in Downstream of Bridge “Besi” in Body of Water at River Garang Semarang City, Indonesia*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Cetakan Pertama. Yogyakarta: Beta Offset.
- Tukan, D.D., Suhudi. 2018. *Perencanaan Groundsill di Hilir Bendung Waikomo Kabupaten Lembata – NTT*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, Hal. 87-97.
- Tungga, Anand Wijaya. 2018. *Perencanaan Groundsill Pada Sungai Tinga-Tinga Desa Tukad Tinga-Tinga Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Putra, I.R. dkk. 2015. *Perencanaan Groundsill Di Sungai Senjoyo Kabupaten Semarang*. Jurnal Karya Teknik Sipil, No. 4, Vol. 4, Hal. 293 – 303.

LAMPIRAN 1 Peta Polygon Thiessen DAS Garang



**LAMPIRAN 2** Curah Hujan Bulanan Sta. Gunungpati

| Tahun | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | Mei  | Jun  | Jul  | Agu  | Sep   | Okt   | Nov   | Des   |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1998  | 35.0  | 79.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 1999  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| 2000  | 127.0 | 54.0  | 125.0 | 96.0  | 67.0 | 53.0 | 67.0 | 15.0 | 45.0  | 88.0  | 77.0  | 71.0  |
| 2001  | 87.0  | 52.0  | 63.0  | 50.0  | 47.0 | 68.0 | 21.0 | 42.0 | 25.0  | 48.0  | 78.0  | 53.0  |
| 2002  | 136.0 | 57.0  | 57.0  | 113.0 | 38.0 | 0.0  | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| 2003  | 80.0  | 98.0  | 151.0 | 35.0  | 25.0 | 13.0 | 0.0  | 0.0  | 52.0  | 62.0  | 37.0  | 83.0  |
| 2004  | 147.0 | 103.0 | 68.0  | 25.0  | 76.0 | 19.0 | 13.0 | 0.0  | 37.0  | 26.0  | 84.0  | 110.0 |
| 2005  | 105.0 | 56.0  | 99.0  | 89.0  | 47.0 | 39.0 | 40.0 | 0.0  | 17.0  | 39.0  | 85.0  | 79.0  |
| 2006  | 86.0  | 85.0  | 44.0  | 64.0  | 41.0 | 2.5  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 7.0   | 64.0  | 174.0 |
| 2007  | 90.0  | 69.0  | 305.0 | 65.0  | 15.0 | 29.0 | 0.0  | 14.0 | 0.0   | 17.0  | 78.0  | 77.0  |
| 2008  | 114.0 | 76.0  | 40.0  | 28.0  | 58.0 | 26.0 | 0.0  | 24.0 | 17.0  | 40.0  | 75.0  | 71.0  |
| 2009  | 108.0 | 67.0  | 59.0  | 17.0  | 59.0 | 65.0 | 69.0 | 17.0 | 9.0   | 35.0  | 46.0  | 48.0  |
| 2010  | 80.0  | 93.0  | 98.0  | 165.0 | 95.0 | 64.0 | 25.0 | 17.0 | 95.0  | 75.0  | 112.0 | 54.0  |
| 2011  | 91.0  | 68.0  | 77.0  | 76.0  | 48.0 | 7.0  | 11.0 | 0.0  | 122.0 | 125.0 | 200.0 | 82.0  |
| 2012  | 99.0  | 67.5  | 56.0  | 46.0  | 41.5 | 21.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 41.0  | 75.0  | 65.0  |
| 2013  | 77.0  | 52.0  | 59.0  | 59.0  | 55.0 | 33.0 | 26.0 | 24.0 | 0.0   | 0.0   | 146.0 | 132.0 |
| 2014  | 84.0  | 148.0 | 32.0  | 75.0  | 49.0 | 56.0 | 26.0 | 25.0 | 0.0   | 24.0  | 36.0  | 75.0  |
| 2015  | 69.0  | 97.0  | 106.0 | 66.0  | 99.0 | 19.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 14.0  | 64.0  | 43.0  |
| 2016  | 136.0 | 118.0 | 78.0  | 79.0  | 65.0 | 67.0 | 65.0 | 45.0 | 76.0  | 152.0 | 112.0 | 117.0 |
| 2017  | 110.0 | 65.0  | 63.0  | 35.0  | 49.0 | 47.0 | 34.0 | 0.0  | 18.0  | 82.0  | 103.0 | 55.0  |
| 2018  | 44.0  | 77.5  | 85.0  | 40.0  | 34.0 | 44.5 | 0.0  | 0.0  | 26.0  | 0.0   | 50.0  | 55.0  |

*Sumber Data: PSDA Bodri Kuto*



**LAMPIRAN 3** Curah Hujan Bulanan Sta. Simongan

| Tahun | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | Mei   | Jun   | Jul  | Agu   | Sep  | Okt   | Nov   | Des   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1998  | 21.0  | 122.0 | 43.0  | 145.0 | 42.0  | 57.0  | 38.0 | 328.0 | 76.0 | 58.0  | 33.0  | 87.0  |
| 1999  | 51.0  | 68.0  | 60.0  | 90.0  | 30.0  | 119.0 | 32.0 | 9.0   | 74.0 | 64.0  | 37.0  | 69.0  |
| 2000  | 179.0 | 70.0  | 32.0  | 42.0  | 148.0 | 42.0  | 15.0 | 44.0  | 56.0 | 120.0 | 203.0 | 60.0  |
| 2001  | 90.0  | 147.0 | 100.0 | 97.0  | 821.0 | 92.0  | 24.0 | 6.0   | 64.0 | 112.0 | 62.0  | 52.0  |
| 2002  | 82.0  | 74.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 2003  | 97.0  | 69.0  | 44.0  | 47.0  | 39.0  | 9.0   | 0.0  | 0.0   | 10.0 | 68.0  | 78.0  | 122.0 |
| 2004  | 105.0 | 163.0 | 58.0  | 37.0  | 53.0  | 23.0  | 14.0 | 0.0   | 39.0 | 31.0  | 58.0  | 63.0  |
| 2005  | 50.0  | 110.0 | 74.0  | 11.0  | 62.0  | 53.0  | 16.0 | 98.0  | 37.0 | 121.0 | 97.0  | 53.0  |
| 2006  | 198.0 | 94.0  | 78.0  | 90.0  | 38.0  | 1.0   | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 2.0   | 108.0 | 110.0 |
| 2007  | 58.0  | 44.0  | 83.0  | 82.0  | 45.0  | 0.0   | 2.0  | 8.0   | 0.0  | 78.0  | 0.0   | 162.0 |
| 2008  | 164.0 | 169.0 | 129.0 | 46.0  | 34.0  | 62.0  | 0.0  | 66.0  | 72.0 | 99.0  | 0.0   | 98.0  |
| 2009  | 93.0  | 216.0 | 25.0  | 49.0  | 61.0  | 99.0  | 12.0 | 24.0  | 69.0 | 14.0  | 87.0  | 128.0 |
| 2010  | 86.0  | 110.0 | 80.0  | 55.0  | 20.0  | 55.0  | 19.0 | 28.0  | 58.0 | 52.0  | 45.0  | 92.0  |
| 2011  | 80.0  | 67.0  | 22.0  | 79.0  | 33.0  | 47.0  | 40.0 | 0.0   | 60.0 | 17.0  | 83.0  | 54.0  |
| 2012  | 80.0  | 55.0  | 25.0  | 65.0  | 30.0  | 50.0  | 45.0 | 0.0   | 0.0  | 17.0  | 70.0  | 45.0  |
| 2013  | 57.0  | 111.0 | 95.0  | 45.0  | 87.0  | 88.0  | 30.0 | 35.0  | 6.0  | 62.0  | 19.0  | 36.0  |
| 2014  | 97.0  | 125.0 | 29.0  | 30.0  | 30.0  | 49.0  | 93.0 | 8.0   | 0.0  | 30.0  | 46.0  | 34.0  |
| 2015  | 96.0  | 177.0 | 64.0  | 37.0  | 67.0  | 19.0  | 7.0  | 12.0  | 1.0  | 1.0   | 42.0  | 42.0  |
| 2016  | 97.0  | 43.0  | 45.0  | 89.0  | 66.0  | 63.0  | 98.0 | 38.0  | 65.0 | 39.0  | 92.0  | 38.0  |
| 2017  | 33.0  | 64.0  | 57.0  | 57.0  | 46.0  | 53.0  | 45.0 | 1.0   | 89.0 | 71.0  | 43.0  | 126.0 |
| 2018  | 58.0  | 73.0  | 67.0  | 43.0  | 8.0   | 6.0   | 0.0  | 0.0   | 4.0  | 24.0  | 80.0  | 123.0 |

*Sumber Data: PSDA Bodri Kuto*

**LAMPIRAN 4** Curah Hujan Bulanan Sta. Sumurjurang

| Tahun | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | Mei  | Jun  | Jul  | Agu  | Sep  | Okt  | Nov   | Des  |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 1998  | 35.0  | 65.0  | -     | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -     | -    |
| 1999  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -     | -    |
| 2000  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 65.0  | 76.0 |
| 2001  | 0.0   | 65.0  | 77.0  | 110.0 | 27.0 | 65.0 | 20.0 | 13.0 | 25.0 | 60.0 | 56.0  | 80.0 |
| 2002  | 0.0   | 157.0 | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  |
| 2003  | 0.0   | 98.0  | 70.0  | 154.0 | 40.0 | 0.0  | 0.0  | 8.0  | 60.0 | 60.0 | 31.0  | 85.0 |
| 2004  | 103.0 | 95.0  | 95.0  | 55.0  | 37.0 | 9.0  | 40.0 | 0.0  | 30.0 | 40.0 | 50.0  | 50.0 |
| 2005  | 0.0   | 50.0  | 70.0  | 50.0  | 7.0  | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 15.0 | 30.0 | 30.0  | 40.0 |
| 2006  | 0.0   | 40.0  | 40.0  | 17.0  | 20.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 9.0   | 60.0 |
| 2007  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  |
| 2008  | 19.0  | 27.0  | 23.0  | 20.0  | 8.0  | 9.0  | 0.0  | 11.0 | 0.0  | 0.0  | 165.0 | 57.0 |
| 2009  | 20.0  | 25.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | 30.0 | 20.0 | 35.0  | 20.0 |
| 2010  | 72.0  | 48.0  | 121.0 | 74.0  | 31.0 | 11.0 | 2.0  | 7.0  | 22.0 | 30.0 | 50.0  | 35.0 |
| 2011  | 51.0  | 25.0  | 14.0  | 31.0  | 25.0 | 0.0  | 5.0  | 0.0  | 90.0 | 23.0 | 33.0  | 61.0 |
| 2012  | 30.0  | 30.0  | 17.0  | 30.0  | 35.0 | 5.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 25.0 | 20.0  | 55.0 |
| 2013  | 69.0  | 43.0  | 63.0  | 47.0  | 57.0 | 57.0 | 41.0 | 22.0 | 15.0 | 32.0 | 124.0 | 35.0 |
| 2014  | 72.0  | 39.0  | 43.0  | 48.0  | 57.0 | 58.0 | 40.0 | 15.0 | 0.0  | 48.0 | 44.0  | 31.0 |
| 2015  | 48.0  | 37.0  | 66.0  | 71.0  | 61.0 | 20.0 | 0.0  | 4.0  | 0.0  | 1.0  | 79.0  | 45.0 |
| 2016  | 54.0  | 52.0  | 67.0  | 64.0  | 64.0 | 57.0 | 63.0 | 29.0 | 46.0 | 63.0 | 82.0  | 57.0 |
| 2017  | 61.0  | 68.0  | 30.0  | 30.0  | 47.0 | 15.0 | 37.0 | 0.0  | 41.0 | 40.0 | 46.0  | 44.0 |
| 2018  | 41.0  | 73.0  | 31.0  | 47.0  | 44.0 | 43.0 | 0.0  | 0.0  | 61.0 | 17.0 | 57.0  | 44.0 |

*Sumber Data: PSDA Bodri Kuto*

**LAMPIRAN 5 Dokumentasi**

Pilar Jembatan Tinjomoyo