

# DAFTAR ISI

|   |               |
|---|---------------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                   | <b>i</b>      |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                       | <b>iii</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                    | <b>ix</b>     |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                     | <b>xii</b>    |
| <b>DAFTAR GRAFIK .....</b>                                    | <b>xv</b>     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                                | <b>I – 1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | I – 1         |
| 1.2 Lokasi Pengkajian dan Analisa .....                       | I – 2         |
| 1.3 Maksud Tujuan Pengkajian dan Analisa .....                | I – 3         |
| 1.4 Ruang Lingkup Pengkajian dan Analisa .....                | I – 3         |
| 1.5 Hipotesis .....   | I – 4         |
| 1.6 Manfaat Pengkajian dan Analisa .....                      | I – 4         |
| 1.7 Metodologi Penulisan .....                                | I – 4         |
| 1.8 Sistematika Penulisan .....                               | I – 6         |
| <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>                            | <b>II – 8</b> |
| 2.1 Pendahuluan .....   | II – 8        |
| 2.1.1 Batasan Tinggi Air untuk Operasi Waduk .....            | II – 10       |
| 2.1.2 Bangunan Utama (Headworks) .....                        | II – 12       |
| 2.2 Faktor-Faktor penting dalam pemilihan tipe bendungan..... | II – 14       |
| 2.3 Komponen Penting Dalam Pemeliharaan Bendungan .....       | II – 16       |
| 2.4 Bendungan Urugan .....                                    | II – 19       |
| 2.4.1 Fungsi Bendungan Urugan.....                            | II – 19       |
| 2.4.2 Tipe Bendungan Urugan .....                             | II – 19       |
| 2.4.3 Keistimewaan dan Keuntungan Bendungan Urugan .....      | II – 25       |
| 2.4.4 Karakteristik Utama dari Bendungan Urugan .....         | II – 25       |
| 2.4.5 Perancangan Bendungan Urugan .....                      | II – 25       |
| 2.5 Bendungan Beton .....                                     | II – 26       |
| 2.6 Dasar-Dasar Perencanaan (Basic Design) .....              | II – 28       |

|         |   |         |
|---------|---|---------|
| 2.6.1   | Stabilitas Bendungan Beton .....  | II – 28 |
| 2.6.2   | Muatan-muatan dan Gaya-gaya yang Bekerja pada Bendungan .....               | II – 31 |
| 2.7     | Stabilitas Bendungan .....  | II – 37 |
| 2.7.1   | Syarat-syarat Stabilitas.....   | II – 37 |
| 2.7.2   | Keadaan Berbahaya yang Harus Ditinjau Didalam Perhitungan .....             | II – 38 |
| 2.7.3   | Muatan-muatan dan Gaya-gaya yang Harus Diperhitungkan .....                 | II – 39 |
| 2.7.4   | Gaya Dorong Hidrostatik Pada tubuh Bendungan dengan sudut ( $\alpha$ )..... | II – 43 |
| 2.7.5   | Harus Aman Terhadap Gaya Geseran dan Tekanan Tanah .....                    | II – 44 |
| 2.7.5.1 | Tanah Kohesif .....   | II – 44 |
| 2.7.5.2 | Identifikasi Tanah Terhadap Butiran .....                                   | II – 45 |
| 2.7.5.3 | Kekuatan Geser .....  | II – 46 |
| 2.7.5.4 | Tanah Mengembang (Swelling Soil) .....                                      | II – 46 |
| 2.7.5.5 | Mekanisme Swelling .....  | II – 47 |
| 2.7.5.6 | Kondisi yang Menyebabkan Swelling .....                                     | II – 48 |
| 2.7.5.7 | Prediksi Swelling (Celah) .....   | II – 48 |
| 2.8     | Hidrolika Tanah.....  | II – 50 |
| 2.8.1   | Hubungan Masa – Volume Tanah.....   | II – 51 |
| 2.8.2   | Berat Satuan Volume/ Isi ( $\gamma$ ) .....                                 | II – 52 |
| 2.8.3   | Angka Pori (Void Ratio) $e$ .....   | II – 52 |
| 2.8.4   | Porositas ( $n$ ) .....   | II – 52 |
| 2.8.5   | Kadar Air (Water Content) $w$ .....   | II – 53 |
| 2.8.6   | Derajat Kejenuhan .....   | II – 53 |
| 2.8.7   | Berat Jenis (Specific Gravity) $G_s$ .....                                  | II – 53 |
| 2.8.8   | Permeabilitas .....   | II – 54 |
| 2.9     | Konsep Tenaga Efektif .....   | II – 56 |
| 2.9.1   | Harus Aman Terhadap Penurunan Bendungan.....                                | II – 63 |

|  |  |                 |
|--|--|-----------------|
| 2.9.2  | Kriteria Keruntuhan Mohr - Coulomb .....                       | II – 64         |
| 2.9.3  | Harus Aman Terhadap Bahaya Rembesan.....                       | II – 65         |
| 2.10   | Geometri Tempat Masuk Garis Freatik .....                      | II – 67         |
| 2.10.1   | Sudut Keluar Garis Freatik “a” Permukaan Hilir Basah....       | II – 70         |
| 2.10.2   | Kuantitas Aliran Q di Hilir .....                              | II – 70         |
| 2.10.3   | Kasus $\beta > 30^\circ$ .....                                 | II – 71         |
| 2.11   | Tegangan pada Fluida .....                                     | II – 73         |
| 2.11.1   | Tekanan dan Gaya Hidrostatik .....                             | II – 74         |
| 2.12   | Konsep Hidrologi .....   | II – 76         |
| 2.12.1   | Siklus Hidrologi .....   | II – 77         |
| 2.13.2   | Metoda Pengolahan Data Curah Hujan .....                       | II – 77         |
| 2.13   | Konsep Dasar Sedimentasi .....                                 | II – 87         |
| 2.13.1   | Alat ukur Sedimentasi .....                                    | II – 89         |
| 2.13.2   | Cara Pengambilan Contoh Sedimen .....                          | II – 91         |
| <br><b>BAB III METODOLOGI .....</b>            |  | <b>III – 93</b> |
| 3.1  | Metodologi Pemecahan Masalah .....                             | III – 93        |
| 3.1.1  | Metode Kajian.....   | III – 93        |
| 3.1.2  | Metode Analisa Struktur dan Pengolahan Data .....              | III – 94        |
| 3.2  | Prosedur Pemasukan Data Objek Pengamatan.....                  | III – 95        |
| 3.2.1  | Latar Belakang .....   | III – 95        |
| 3.2.2  | Data Umum Waduk Darma.....                                     | III – 96        |
| 3.2.3  | Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung Dan Data<br>Pendukung..... | III – 105       |
| <br><b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b> |  | <b>IV – 108</b> |
| 4.1  | Pengolahan Data Debit Air.....                                 | IV – 108        |
| 4.2  | Pengolahan Data Debit Dan Volume Waduk Darma .....             | IV – 108        |
| 4.3  | Hasil Pengolahan Data Debit Air .....                          | IV – 117        |
| 4.4  | Tinggi Muka Air Maksimum Dan Normal Waduk Darma .....          | IV – 117        |
| 4.4.1  | Elevasi Maksimum Dan Elevasi Normal Metoda                     |                 |

|   |                |
|---|----------------|
| Gumbel.....   | IV – 119       |
| 4.4.2 Hasil Pengolahan Data Tinggi Muka Air.....            | IV – 123       |
| 4.5 Tinggi Air Di Hilir Bendung Pada Saat Design Flood..... | IV – 123       |
| 4.5.1 Perhitungan Lengkung Debit .....                      | IV – 125       |
| 4.6 Volume Total Aliran Realisasi .....                     | IV – 131       |
| 4.6.1 Hasil Pengolahan Volume Total Aliran Realisasi.....   | IV – 134       |
| 4.7 Volume Aliran Total Rencana.....                        | IV – 134       |
| 4.8 Prediksi Sedimentasi Waduk Darma .....                  | IV – 134       |
| 4.8.1 Prediksi Sedimentasi Waduk Darma Rencana.....         | IV – 136       |
| 4.8.2 Prediksi Sedimentasi Waduk Darma Realisasi .....      | IV – 136       |
| 4.9 Stabilitas Bendung.....                                 | IV – 137       |
| 4.9.1 Beban Akibat Berat Sendiri .....                      | IV – 137       |
| 4.9.2 Beban Akibat Gaya Gempa.....                          | IV – 139       |
| 4.9.3 Tekanan Akibat (Sedimentasi).....                     | IV – 140       |
| 4.9.4 Gaya Hidrostatik.....                                 | IV – 141       |
| 4.9.5 Akibat Gaya Uplift Pressure .....                     | IV – 142       |
| 4.10 Gaya-Gaya Yang Bekerja Terhadap DAM .....              | IV – 144       |
| 4.10.1 Pada Saat Kondisi Air Normal Dan Banjir .....        | IV – 144       |
| 4.10.2 Kontrol Terhadap Syarat-Syarat Stabilitas .....      | IV – 145       |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                     | <b>V – 151</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....   | V – 151        |
| 5.2 Saran .....   | V – 153        |

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

|  |         |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Zona Tampungan Waduk .....  | II – 9  |
| Gambar 2.2 Potongan Melintang Bendungan .....  | II – 11 |
| Gambar 2.3 Tampak Atas Suatu Bangunan Bendung.....   | II – 12 |
| Gambar 2.4 Denah Dan Potongan Melintang Bendung Gerak Dan Potongan<br>Melintang Bendung Saringan Bawah.....  | II – 13 |
| Gambar 2.5 Tipe Bendung .....  | II – 13 |
| Gambar 2.6 Bendungan Urugan Tanah Dengan Saluran Drainase Kaki .....   | II – 19 |
| Gambar 2.7 Bendungan Urugan Tanah Dengan Saluran Drainase<br>Horizontal.....                                 | II – 20 |
| Gambar 2.8 Bendungan Urugan Tanah Dengan Saluran Drainase Tegak.....   | II – 20 |
| Gambar 2.9 Bendungan Urugan Tanah Dengan Saluran Drainase<br>Kombinasi .....                                 | II – 20 |
| Gambar 2.10 Bendungan Urugan Pasir Dan Krikil Dengan Lapisan Kedap Air<br>Tegak.....                         | II – 20 |
| Gambar 2.11 Bendungan Urugan Pasir Dan Krikil Dengan Lapisan Kedap Air<br>Miring.....                        | II – 21 |
| Gambar 2.12 Bendungan Urugan Pasir Dan Krikil Dengan Lapisan-Lapisan<br>Kedap Air Tegak Tidak Simetris ..... | II – 21 |
| Gambar 2.13 Bendungan Urugan.....  | II – 22 |
| Gambar 2.14 Bendungan Urugan.....  | II – 23 |
| Gambar 2.15 Bendungan Urugan.....  | II – 23 |
| Gambar 2.16 Bendungan Urugan.....  | II – 24 |
| Gambar 2.17 Bendungan Bagian Overflow .....  | II – 27 |
| Gambar 2.18 Bendungan Bagian Nonoverflow .....   | II – 27 |
| Gambar 2.19 Ilustrasi Gaya Guling Yang Bekerja Pada Bendungan .....  | II – 28 |
| Gambar 2.20 Ilustrasi Gaya Geser Yang Bekerja Pada Bendungan .....   | II – 30 |
| Gambar 2.21 Ilustrasi Gaya Geser Yang Bekerja Pada Bendungan .....   | II – 30 |
| Gambar 2.22 Berat Sendiri Bendungan .....  | II – 31 |
| Gambar 2.23 Mencari Titik Tangkap Gaya .....   | II – 32 |
| Gambar 2.24 Berat Air Di Sebelah Hulu Bendungan .....  | II – 33 |

|  |         |
|--|---------|
| Gambar 2.25 Skema Gaya Tekan Ke Atas.....  | II – 33 |
| Gambar 2.26 Skema Gaya Hidrostatik Dan Hidrodinamik .....  | II – 34 |
| Gambar 2.27 Skema Gaya Sebagai Akibat Gempa .....  | II – 35 |
| Gambar 2.28 Skema Muatan Pada Akhir Masa Konstruksi .....  | II – 36 |
| Gambar 2.29 Skema Daerah Yang Akan Terjadi Longsoran Akibat Waduk Terisi Sebagian .....  | II – 38 |
| Gambar 2.30 Skema Daerah Yang Akan Terjadi Longsoran Akibat Waduk Terisi Penuh Dan Mengalami Penurunan Secara Tiba-Tiba (Rapid Drawdown) ..... | II – 39 |
| Gambar 3.31 Garis Phreatik Diambil Berat Volume Di Bawah Air.....  | II – 40 |
| Gambar 3.32 Gaya Hidrostatik Yang Bekerja Pada Bendung.....  | II – 41 |
| Gambar 3.33 Skema Pembebasan Yang Disebabkan Oleh Tekanan Hidrostatik Yang Bekerja Pada Bidang Luncur.....                                     | II – 41 |
| Gambar 2.34 Tegangan Pada Fluida .....   | II – 42 |
| Gambar 2.35 Gaya Terhadap Tubuh Bendungan Dengan Sudut.....  | II – 43 |
| Gambar 2.36 Balok Contoh Tanah 1 cm <sup>3</sup> .....   | II – 51 |
| Gambar 2.37 Bidang Gaya Geser Pada Bendung Akibat Longsor .....  | II – 57 |
| Gambar 2.38 Irisan Bendungan Dalam Perhitungan Gaya Geser.....   | II – 58 |
| Gambar 2.39 Keseimbangan Gaya Pada Irisan Bendung .....  | II – 59 |
| Gambar 2.40 Konsep Tegangan Tekan Tanah.....   | II – 63 |
| Gambar 2.41 Mohr – Coulomb Failure Envelope.....   | II – 64 |
| Gambar 2.42 Garis Jaringan Aliran Pada Bendungan .....   | II – 66 |
| Gambar 2.43 Perpotongan Garis Airan Dengan Garis Ekipotensial.....   | II – 68 |
| Gambar 2.44 Rembesan Air Yang Membentuk Garis Freatik.....   | II – 68 |
| Gambar 2.45 Sudut Garis Freatik Pada Bendung .....   | II – 70 |
| Gambar 2.46 Ilustrasi Garis Ekipotensial Dan Freatik Pada Bendung .....  | II – 71 |
| Gambar 2.47 Ilustrasi Garis Freatik Yang Membentuk Sudut >30° .....  | II – 71 |
| Gambar 2.48 Tegangan Pada Fluida .....   | II – 73 |
| Gambar 2.49 Tegangan Pada Fluida .....   | II – 74 |
| Gambar 2.50 Tegangan Pada Fluida .....   | II – 75 |
| Gambar 2.51 Siklus Hidrologi .....   | II – 77 |
| Gambar 2.52 Klasifikasi Muatan Sedimen .....   | II – 88 |
| Gambar 2.53 Sebaran Vertikal Kecepatan Aliran Dan Volume Sedimen .....   | II – 89 |

|   |          |
|---|----------|
| Gambar 2.54 Alat Pengukur Sedimen Tipe US – P61 .....                         | II – 90  |
| Gambar 2.55 Alat Pengukur Sedimen Tipe US-D 49.....                           | II – 91  |
| Gambar 4.1 Skematik Gaya Arah Vertikal .....                                  | IV – 138 |
| Gambar 4.2 Skematik Arah Gaya Horizontal Tanggul.....                         | IV – 139 |
| Gambar 4.3 Skematik Gaya Yang Bekerja Akibat Endapan Sedimentasi..            | IV – 140 |
| Gambar 4.4 Skematik Gaya Hidrostatik Pada Saat Air Normal.....                | IV – 141 |
| Gambar 4.5 Skematik Gaya Hidrostatik Pada Saat Air Banjir.....                | IV – 141 |
| Gambar 4.6 Skematik Gaya Uplift Pressure Pada Saat Kondisi Air<br>Normal..... | IV – 143 |
| Gambar 4.7 Skematik Gaya Uplift Pressure Pada Saat Kondisi Air<br>Banjir..... | IV – 144 |
| Gambar 4.8 Analogi Kontrol Gaya Pada Struktur Tanggul.....                    | IV – 146 |

## DAFTAR TABEL

|  |           |
|--|-----------|
| Tabel 2.1 Bagian Bangunan Bendung.....   | II – 12   |
| Tabel 2.2 Luas Daerah Genangan Waduk Dan Skala Peta Yang Lazim<br>Dipergunakan .....                                     | II – 17   |
| Tabel 2.3 Perhitungan Momen Pada Tubuh Bendung .....   | II – 32   |
| Tabel 2.4 Butir Tanah Menurut ASTM.....  | II – 45   |
| Tabel 2.5 Nilai Tipikal Koefisien Permeabilitas ( k ) .....  | II – 55   |
| Tabel 2.6 Perhitungan Kesenjangan Gaya .....   | II – 61   |
| Tabel 2.7 Perhitungan Kesenjangan Gaya Untuk Bendungan > 60 M.....   | II – 62   |
| Tabel 2.8. Hubungan kemiringan $\beta$ Terhadap Rasio Panjang Daerah<br>Basah Hilir $\psi$ .....                         | II – 72   |
| Tabel 2.9 Nilai Rata-Rata Tereduksi ( $Y_n$ ).....   | II – 80   |
| Tabel 2.10 Nilai Simpangan Baku Tereduksi ( $S_n$ ).....   | II – 80   |
| Tabel 2.11 Nilai Faktor tereduksi ( $Y_{Tr}$ ) .....   | II – 81   |
| Tabel 2.12 Nilai $K_T$ untuk distribusi Log-Person III (bersambung).....   | II – 82   |
| Tabel 2.13 Nilai $K_T$ Untuk Distribusi Log-Person III (Sambungan) .....   | II – 84   |
| Tabel 2.14 Nilai $K_t$ Untuk Distribusi Log-Normal .....   | II – 87   |
| Tabel 3.1 Data Rembesan DAM Rockfill Yang Mencolok Dan Dianggap<br>Membahayakan .....                                    | III – 104 |
| Tabel 3.2 Potensi Sumber Daya Air $W_s$ Cimanuk.....   | III – 105 |
| Tabel 3.3 Data Sungai Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung .....  | III – 106 |
| Tabel 3.4 Potensi SDA Wilayah Sungai Cimanul-Cisanggarung.....   | III – 107 |
| Tabel 3.5 Potensi Waduk DAS Cimanuk (Rencana induk 1980) .....   | III – 107 |
| Tabel 3.6 Potensi Waduk DAS Cisanggarung .....   | III – 107 |
| Tabel 4.1. Data Debit Banjir dan Normal Waduk Darma.....   | IV – 108  |
| Tabel 4.2 Perhitungan Debit Dan Volume Air Dengan Perioda Ulang 10 Tahun<br>Dengan Metoda Log-Person Dan Log-Normal..... | IV – 112  |
| Tabel 4.3 Tinggi Muka Air Waduk Darma.....   | IV – 118  |
| Tabel 4.4 Perhitungan Elevasi Maksimum Dan Normal Metoda Gumbel .  | IV – 119  |



|   |          |
|---|----------|
| Tabel 4.5 Perhitungan Elevasi Maksimum Dan Normal Metoda Log-Person Dan Log-Normal.....               | IV – 121 |
| Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Elevasi Maksimum Dan Normal Dari<br>3 Metoda.....                         | IV – 123 |
| Tabel 4.7 Debit Air Terhadap Elevasi Sungai Yang Di Tinjau Dari<br>Jarak 7.65 Km Ke Hilir Waduk ..... | IV – 130 |
| Tabel 4.8 Perhitungan Volume Total Aliran Realisasi Dengan Metoda<br>Gumbel.....                      | IV – 131 |
| Tabel 4.9 Perhitungan Volume Total Aliran Realisasi Dengan Metoda Log-Person<br>Dan Log-Normal .....  | IV – 132 |
| Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Volume Total Aliran Realisasi Dari<br>3 Metoda.....                      | IV – 134 |
| Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Volume Total Aliran Realisasi Dari<br>3 Metoda.....                      | IV – 134 |
| Tabel 4.12 Volume Dan Berat Sedimentasi Trap Terhadap Faktor Pergerakan<br>Sedimentasi (n).....       | IV – 135 |
| Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Akibat Berat Sendiri.....  | IV – 138 |
| Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Akibat Gaya Gempa.....   | IV – 139 |
| Tabel 4.15 Perhitungan Gaya Sedimentasi Pada DAM .....  | IV – 141 |
| Tabel 4.16 Perhitungan Gaya Hidrostatik Terhadap DAM Pada Saat<br>Air Normal .....                    | IV – 141 |
| Tabel 4.17 Perhitungan Gaya Hidrostatik Terhadap DAM Pada Saat<br>Air Banjir .....                    | IV – 142 |
| Tabel 4.18 Jalur Rembesan Dan Tekanan Air Pada Saat Kondisi Normal                                    | IV – 143 |
| Tabel 4.19 Gaya Uplift Pressure Pada Saat Kondisi Air Normal .....                                    | IV – 143 |
| Tabel 4.20 Jalur Rembesan Dan Tekanan Air Pada Saat Kondisi Banjir ..                                 | IV – 144 |
| Tabel 4.21 Gaya Uplift Pressure Pada Saat Kondisi Air Banjir .....                                    | IV – 144 |
| Tabel 4.22 Gaya Yang Bekerja Terhadap DAM Pada Saat Kondisi Air<br>Normal.....                        | IV – 145 |
| Tabel 4.23 Gaya Yang Bekerja Terhadap DAM Pada Saat Kondisi Air<br>Banjir.....                        | IV – 145 |

|   |          |
|---|----------|
| Tabel 4.24 Rencana Berat Dan Volume Sedimentasi Yang Akan Dilakukan Pengerukan .....  | IV – 147 |
| Tabel 4.25 Kontrol Gaya Geser Terhadap Rencana Berat Sedimentasi Yang Akan Dilakukan Pengerukan Pada Saat Kondisi Normal..... | IV – 149 |
| Tabel 4.26 Kontrol Gaya Geser Terhadap Rencana Berat Sedimentasi Yang Akan Dilakukan Pengerukan Pada Saat Kondisi Banjir..... | IV – 150 |

## DAFTAR GRAFIK

|   |          |
|---|----------|
| Grafik 2.1 Karakteristik Tampang Waduk.....   | II – 10  |
| Grafik 2.2 Cara Menentukan FSL.....   | II – 11  |
| Grafik 2.3 Hubungan Antara Kadar Air Terhadap Swelling .....  | II – 49  |
| Grafik 2.4 Menentukan Konstanta Empiris .....   | II – 50  |
| Grafik 4.1 Hubungan Volume Dan Debit Air Terhadap Waktu (Bulan)....                                     | IV – 111 |
| Grafik 4.2 Hubungan Tinggi Muka Air Terhadap Waktu (Bulan) .....  | IV – 119 |
| Grafik 4.3 Lengkung Debit Banjir Dan Normal Terhadap Tinggi<br>Muka Air .....                           | IV – 124 |
| Grafik 4.4 Hubungan Volume Dan Debit Air Dengan Kedalaman Terhadap<br>Sungai Yang Di Tinjau.....        | IV – 130 |
| Grafik 4.5 Volume Air (□) Terhadap Volume Sedimentasi.....  | IV – 135 |
| Grafik 4.6 Dead Storage Dan Berat Sedimentasi Rencana Terhadap Faktor<br>Pergerakan Sedimen (n) .....   | IV – 136 |
| Grafik 4.7 Dead Storage Dan Berat Sedimentasi Realisasi Terhadap Faktor<br>Pergerakan Sedimen (n) ..... | IV – 137 |
| Grafik 4.6 Dead Storage Dan Berat Sedimentasi Rencana Terhadap Faktor<br>Pergerakan Sedimen (n) .....   | IV – 136 |