

OPERASIONAL WADUK

Wesli

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Email: ir_wesli@yahoo.co.id

Abstrak

Waduk Keuliling mempunyai Luas Daerah Aliran Sungai 38,20 km², luas genangan pada muka air normal (MAN) sebesar 259,94 ha, tampungan total muka air normal (MAN, EL. 45,80 m) sebesar 18.359.078 m³ dan tampungan efektif sebesar 12.992.080 m³ dan berfungsi sebagai penyediaan air baku, pengembangan perikanan darat, peternakan, persawahan dan lainnya. Untuk memenuhi semua kebutuhan dilakukan pengoperasian waduk yaitu dengan mengoptimalkan volume tampungan air pada akhir bulan melalui optimasi penggunaan data debit inflow dan data debit outflow dapat dimaksimalkan. Optimasi dilakukan dengan model optimasi Linier Programming dan hasil yang diperoleh yaitu Volume tampungan air pada bulan Oktober adalah 37.115.930 m³, bulan November sebesar 91.678.820 m³ dan di bulan Januari sebesar 144.589.300 m³. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari bulan ke bulan tidak pernah terjadi pada level tampungan mati, sehingga masalah untuk segala kebutuhan air dapat teratasi.

Kata kunci: *Optimasi, Debit, Volume tampungan, Linear Programming*

1. Pendahuluan

Sungai Keuliling yang merupakan salah satu sub-basin Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh yang mempunyai potensi air yang cukup besar dalam penyediaan air baku untuk memenuhi kebutuhan air kota Banda Aceh dan Aceh Besar. Waduk Keuliling berada di Kecamatan Kuta Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar yang berjarak ± 35 km dari pusat kota Banda Aceh mempunyai luas genangan pada muka air normal (MAN) sebesar 259,94 ha, tampungan total muka air normal (MAN, EL. 45,80 m) sebesar 18.359.078 m³, tampungan efektif sebesar 12.992.080 m³ dan tampungan mati (MAR, EL +37,50 m) sebesar 4.232.943 m³. Sumber air utama waduk Keuliling adalah sungai Keuliling dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 38,20 km², panjang sungai 12,3 km dan lebar sungai rata-rata ± 7 m.

Penelitian ini merupakan upaya pengelolaan sumberdaya air terutama pada optimalisasi distribusi pemanfaatan air yang tersedia untuk berbagai keperluan. Disamping itu karena ketersediaan air yang relatif terbatas, sementara kebutuhan terus meningkat maka diperlukan adanya penentuan kebijakan akan pengaturan debit distribusi air yang ada. Dalam upaya pengaturan debit distribusi air digunakan model optimasi program linier. Untuk mengetahui kegagalan keluaran dari program linier, maka dilakukan kontrol dengan menggunakan simulasi kapasitas tampungan waduk, sehingga hasil yang diperoleh akan lebih mendekati kondisi empirik. Tujuan penelitian mengoptimalkan volume tampungan air waduk setiap bulan pada pengoperasiannua dengan menggunakan metode linear programming. Manfaat penelitian sebagai rekomendasi dalam penggunaan sistem

pengoperasian waduk serta dari hasil penelitian ini nantinya dapat digunakan oleh Pemerintah Daerah dalam menangani sistem pengoperasian waduk.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk menentukan debit minimum air yang dilakukan melalui analisis hujan rencana, intensitas hujan dan debit aliran. Menurut Wesli (2008), hujan rencana yang dimaksud adalah hujan harian maksimum yang akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan, kemudian intensitas hujan ini digunakan untuk mengestimasi debit rencana. Hujan rencana dapat dihitung secara statistik berdasarkan data curah hujan terdahulu.

Menurut Triatmodjo (2009), penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	(± s) = 68,27% (± 2s) = 95,44% $C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^2$ $C_k = C_v^6 + 6C_v^4 + 15C_v^2 + 1$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Perason III	Selain dari nilai di atas

Sumber: Triadmodjo (2009)

2.1.1 Periode ulang (return period)

Menurut Asdak (1995), periode ulang adalah periode waktu rata-rata yang diharapkan terjadi antara dua kejadian yang berurutan. Periode ulang (T_r) biasanya diprakirakan dari data curah hujan serial tahunan dengan bentuk persamaan:

$$T_r = \frac{n+1}{m} \dots\dots\dots (2.8)$$

di mana:

- T_r = Periode ulang (tahun)
- n = Periode data debit yang tercatat
- m = Jumlah kejadian, apabila disusun mulai yang terbesar sampai yang terkecil

2.1.2 Uji kecocokan distribusi Smirnov-Kolmogorov

Menurut Wesli (2008), uji kecocokan distribusi Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan no parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur untuk uji Smirnov-kolmogorov ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Urutkan data dari besar ke kecil dan tentukan peluang dan masing-masing data tersebut dengan menggunakan rumus:

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

di mana:

- P = Probabilitas (%)
- m = Nomor urut data setelah diurut dari besar ke kecil
- n = Jumlah tahun data

- b. Tentukan peluang teoritis untuk masing-masing data tersebut berdasarkan persamaan distribusinya:

$$P' = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.10)$$

- c. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis:

$$D = \text{maksimum} [P(Q_{maks}) - P'(Q_{maks})] \dots\dots\dots (2.11)$$

- d. Berdasarkan tabel untuk nilai kritis Smirnov-Kolmogorov ditentukan harga D_0 .
- e. Apabila D lebih kecil dari D_0 maka distribusi yang digunakan untuk menentukan debit rencana dapat diterima, sebaliknya jika harga D lebih besar dari D_0 , maka distribusi yang digunakan untuk menentukan debit rencana tidak diterima.

2.2 Ketersediaan Air

2.2.1 Debit Aliran

Menurut Wesli (2008), ada banyak rumus rasional yang dibuat secara empiris yang dapat menjelaskan hubungan antara hujan dengan limpasannya diantaranya adalah:

$$Q = 0,278.C . I . A \dots\dots\dots (2.12)$$

di mana:

- Q = Debit (m^3/det)
- C = Koefisien aliran
- I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- A = Luas daerah aliran (km^2)

2.2.2 Debit andalan

Menurut Soewarno (1991), debit andalan yaitu debit minimum sungai yang pada tingkat peluang tertentu dapat dipakai untuk keperluan penyediaan air (irigasi, air minum, tenaga listrik).

2.3 Kebutuhan Air

Menurut Razuardi (2005), kebutuhan air merupakan akumulasi dari kebutuhan air seperti kebutuhan air untuk rumah tangga, peternakan dan persawahan. Untuk menentukan kebutuhan air dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{KA} = Q_{RT} + Q_T + Q_S + Q_P \dots\dots\dots (2.18)$$

di mana:

- Q_{KA} = Kebutuhan air
- Q_{RT} = Kebutuhan air rumah tangga
- Q_T = Kebutuhan air ternak
- Q_S = Kebutuhan air sawah
- Q_P = Kebutuhan air perikanan

2.4 Karakteristik dan Zona Tampungan Waduk

Menurut Susilah (2009) yang dikutip dari Linsey, R.K., J.B. Franzini, D.L. Freyberg, and G. Tchobanoglous (1999) karakteristik terpenting dari suatu waduk adalah berkaitan dengan kemampuan waduk untuk menyimpan air yaitu kapasitasnya. Kebijakan pengoperasian waduk melibatkan pembagian kapasitas tampungan ke dalam bagian-bagian berdasarkan fungsi yang direncanakan dalam pengoperasian waduk. Pembagian kapasitas tampungan dapat permanen atau berubah berdasarkan musim atau faktor lain. Tampungan terdiri dari beberapa zona,

Menurut Mays, Larry W dan Yeou Koung Tung (1992), potensi waduk dalam menampung air (kapasitas waduk, *storage capacity*) dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu:

- a. Kapasitas mati (*dead storage zone*) dipergunakan untuk pengumpulan sedimen.
- b. Kapasitas efektif (*effective/usefull storage*) merupakan kapasitas yang dipergunakan tindakan konservasi sumber air (penyediaan air baku, irigasi navigasi dan lain-lain), sehingga setiap pemanfaatan waduk dalam konservasi waduk tidak dapat melebihi kapasitas efektif.
- c. Kapasitas penahan banjir (*flood control*) merupakan kapasitas waduk yang berguna untuk menahan kelebihan air guna mengurangi potensi kerusakan akibat banjir.

2.5 Pola Operasi Waduk

Menurut Ibrahim (2003), pola operasi waduk adalah patokan operasional suatu waduk di mana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus sesuai dengan ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rancangan. Persamaan dasar dalam simulasi neraca air di waduk merupakan fungsi dari masukan, pengeluaran dan tampungan waduk yang dapat disajikan dalam persamaan sederhana:

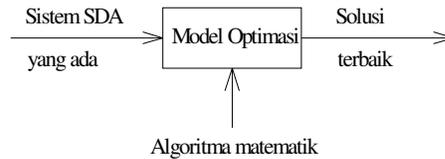
$$I - O = ds / dt \quad \dots\dots\dots (2.38)$$

di mana:

- I = Masukan
- O = Keluaran
- $Ds / dt = \Delta S$ = Perubahan tampungan

2.6 Optimasi

Operasi pemanfaatan sumber daya air yang optimal merupakan aspek yang sangat penting dalam pendayagunaan sumberdaya air khususnya pada perencanaan operasi waduk. Prinsip dari metode optimasi dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema model optimasi

Sumber: Ibrahim (2003)

2.7 Program Linier

Menurut Aminudin (2005), program linier (*Linier Programming/LP*) adalah suatu teknik perencanaan yang bersifat analitis yang analisisnya menggunakan model matematis, dengan tujuan menemukan beberapa kombinasi alternatif pemecahan optimum terhadap persoalan. Persoalan-persoalan program linier yang melibatkan banyak variabel-variabel keputusan (*decision variables*) dapat dengan cepat dipecahkan dengan bantuan paket program komputer yang sudah tersedia seperti LINDO, QSB, TORA dan lain-lain. Menurut Siswanto (2006), pemrograman linier adalah sebuah metode matematis yang berkarakteristik linier untuk menemukan suatu penyelesaian optimal dengan cara memaksimalkan atau meminimumkan fungsi tujuan terhadap satu susunan kendala.

3. Metode Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

Data primer adalah data observasi diambil langsung dilapangan. Pada penelitian ini tidak diperlukan data primer karena data yang digunakan sudah tersedia di instansi yang terkait dengan waduk tersebut. Data sekunder adalah data yang bersumber dari referensi atau dari instansi-instansi terkait. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data curah hujan, peta lokasi waduk, peta Daerah Aliran Sungai, peta daerah genangan waduk, data evapotranspirasi, data luas area persawahan, data penduduk, ternak dan luas area perikanan, data luas genangan, data tata guna lahan, data teknis sungai dan waduk. Data curah hujan bersumber dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Aceh. Data curah hujan bulanan berupa data curah hujan dari tahun 1996 sampai tahun 2009. Data curah hujan selama 14 tahun ini diambil nilai yang paling kecil atau minimum setiap tahunnya. Data peta lokasi waduk Keuliling, peta daerah aliran sungai Keuliling bersumber dari Dinas Sumber Daya Air Propinsi Aceh. Peta daerah genangan waduk Keuliling, data evapotranspirasi dan data luas area persawahan waduk Keuliling bersumber dari PT. Wiratman & Associates konsultan. Data penduduk, ternak dan luas area perikanan bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) Banda Aceh, data luas genangan, tata guna lahan dan data teknis sungai dan waduk Keuliling bersumber dari PT. Wahana Adya konsultan.

3.2 Metode optimasi

Dalam menyusun pola operasi waduk meggunakan metode optimasi. Penyelesaian masalah optimasi dengan program linier dimulai dengan menentukan variabel-variabel keputusan yang hendak dicari nilai variabel optimumnya, lalu dibentuk fungsi tujuannya berupa volume tampungan air waduk setiap bulan Kemudian diidentifikasi kendala-kendala yang dihadapi dan dinyatakan secara fungsional berupa persamaan atau pertidaksamaan yaitu berupa debit ketersediaan air dan debit kebutuhan air.

- Fungsi Tujuan:

$$\text{Max } V_t = V_{t+1} + V_{in} - V_{out} \dots\dots\dots (3.1)$$

- Fungsi kendala:

$$\begin{aligned} V_{in} &= V \text{ total inflow} \\ V_{out} &= V \text{ total outflow} \\ V_{t-1} &= V_{t-1} + V_{in} \end{aligned}$$

di mana:

- V_t = Volume tampungan waduk pada akhir bulan ke t (m^3)
- V_{t-1} = Volume tampungan pada akhir bulan sebelumnya (m^3)
- V_{in} = Volume inflow (m^3)
- V_{out} = Volume outflow (m^3)

4. Hasil dan Pembahasan

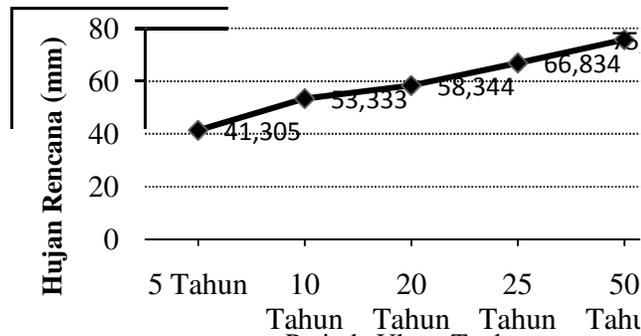
4.1 Hujan rencana

Dari data curah hujan dengan menggunakan Distribusi Log Pearson III diperoleh hujan rencana untuk periode ulang 5 tahun sebesar 41,305 mm, untuk periode ulang 10 tahun sebesar 53,333 mm, untuk periode ulang 20 tahun sebesar 58,344 mm, untuk periode ulang 25 tahun sebesar 66,834 mm dan untuk periode ulang 50 tahun sebesar 75,683 mm. Selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan hujan rencana Distribusi Log Pearson III

Periode ulang	(mm)	K_T	s_y	$Log y_T$	(mm)
5	1,292	0,854	0,379	1,616	41,305
10	1,292	1,147	0,379	1,727	53,333
20	1,292	1,251	0,379	1,766	58,344
25	1,292	1,407	0,379	1,825	66,834
50	1,292	1,549	0,379	1,879	75,683

Dari Tabel 2 dapat dibuat suatu grafik yang menggambarkan tentang hujan rencana seperti diperlihatkan pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa semakin besar periode ulangnya maka akan semakin besar pula hujan rencananya.



Gambar 3 Grafik Hujan Rencana berdasarkan Periode Ulang T Tahun

4.2 Uji kecocokan Distribusi Smirnov-Kolmogorov

Dari hasil pengujian dari uji kecocokan distribusi Smirnov-Kolmogorov menunjukkan bahwa nilai D_{max} diperoleh sebesar 0,437. Berdasarkan jumlah data sebanyak 14 buah dan derajat kepercayaan sebesar $\alpha = 8\%$ maka dapat ditentukan nilai D_0 sebesar 0,47. Hasil uji kecocokan menunjukkan bahwa nilai D_{max} lebih kecil dari nilai D_0 , maka distribusi dengan menggunakan Log Pearson Tripe III dapat diterima.

4.3 Analisa ketersediaan air

Analisis ketersediaan air berupa debit aliran diperoleh untuk periode ulang 5 tahun sebesar $57,345 \text{ m}^3/\text{det}$, untuk periode ulang 10 tahun sebesar $74,043 \text{ m}^3/\text{det}$, untuk periode ulang 20 tahun sebesar $81,000 \text{ m}^3/\text{det}$, untuk periode ulang 25 tahun sebesar $92,787 \text{ m}^3/\text{det}$ dan untuk periode ulang 50 tahun sebesar $105,072 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan untuk debit andalan sungai yang digunakan diperoleh dari data yang sudah ada yaitu sebesar $1,240 \text{ m}^3/\text{det}$. Hasil selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Debit aliran periode ulang 5, 10, 20, 25 dan 50 tahun

Tr (Tahun)	C	I (mm/jam)	A (km ²)	Q (m ³ /det)
5	0,75	7,200	38,2	57,345
10	0,75	9,296	38,2	74,043
20	0,75	10,170	38,2	81,000
25	0,75	11,650	38,2	92,787
50	0,75	13,192	38,2	105,072

Analisis ketersediaan air dilakukan untuk mengetahui debit air yang akan mengisi waduk dan analisis kebutuhan air dilakukan untuk mengetahui kebutuhan air menggambarkan bahwa debit ketersediaan air lebih besar dari pada debit kebutuhan air, hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan air mampu mencukupi kebutuhan air. Untuk optimasi debit ketersediaan air dan debit kebutuhan air digunakan debit minimum periode ulang 5 tahun saja.

4.4 Analisa kebutuhan air

4.4.1 Rumah tangga

Kebutuhan air rumah tangga diperoleh periode ulang 5 tahun sebesar 0,447m³/det, periode ulang 10 tahun sebesar 0,468 m³/det, periode ulang 20 tahun sebesar 0,511 m³/det, periode ulang 25 tahun sebesar 0,532 m³/det dan periode ulang 50 tahun sebesar 0,639m³/det seperti diperlihatkan pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil perhitungan kebutuhan air rumah tangga

Tr (Tahun)	Ȳ (jiwa)	Q _{RT} (m ³ /det)
5	321.782	0,447
10	337.141	0,468
20	367.857	0,511
25	383.215	0,532
50	460.006	0,639

4.4.2 Ternak

Kebutuhan air ternak diperoleh periode ulang 5 tahun sebesar 0,087m³/det, periode ulang 10 tahun sebesar 0,096 m³/det, periode ulang 20 tahun sebesar 0,126 m³/det, periode ulang 25 tahun sebesar 0,151 m³/det dan periode ulang 50 tahun sebesar 0,859 m³/det seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan kebutuhan air ternak

Prediksi T tahun	Kebutuhan air Ternak (m ³ /det)
5	0,087
10	0,096
20	0,126
25	0,151
50	0,859

4.4.3 Sawah

Dari hasil perhitungan kebutuhan air persawahan diperoleh dari hasil perhitungan yaitu sebesar 100,436 m³/det seperti diperlihatkan pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil perhitungan kebutuhan air persawahan

Bulan	Okt		Nov		Des		Jan		Feb		Mar	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Debit (m ³ /det)	8,774	8,774	7,646	3,194	1,702	2,526	3,196	2,232	0,989	9,833	9,736	9,736

Lanjutan Tabel 6

Apr		Mei		Jun		Jul		Agust		Sept		Σ Q
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
5,472	5,435	5,731	3,577	4,472	3,299	0	0	0	0	0	0	96,254 m³/dt

4.4.4 Perikanan

Dari hasil perhitungan kebutuhan air perikanan diperoleh periode ulang 5 tahun sebesar $0,23 \text{ m}^3/\text{det}$, periode ulang 10 tahun sebesar $0,460 \text{ m}^3/\text{det}$, periode ulang 20 tahun sebesar $0,920 \text{ m}^3/\text{det}$, periode ulang 25 tahun sebesar $1,150 \text{ m}^3/\text{det}$ dan periode ulang 50 tahun sebesar $2,300 \text{ m}^3/\text{det}$ selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 7

Tabel 7. Hasil perhitungan kebutuhan air perikanan

Tr (Tahun)	A(fp) (ha)	Qfp (m^3/det)
5	283,927	0,230
10	567,854	0,460
20	1.135,709	0,920
25	1.419,636	1,150
50	2.839,272	2,300

4.4.5 Optimasi

Optimasi dilakukan dengan fungsi tujuan mengoptimalkan volume tampungan air waduk setiap bulan yang diterjemahkan menjadi persamaan matematis secara proposional pada masing-masing debit yang dibatasi oleh fungsi kendala berupa konstrain-konstrain yang ditetapkan berdasarkan debit kebutuhan air dan ketersediaan air. Optimasi dilakukan dengan model Linier Programming dan menggunakan *software* LINDO. Dari hasil perhitungan optimasi maka diperoleh nilai Volume tampungan air pada akhir bulan Oktober adalah $37.115.930 \text{ m}^3$, akhir bulan November sebesar $91.678.820 \text{ m}^3$ dan akhir bulan Januari sebesar $144.589.300 \text{ m}^3$.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil model optimasi pengoperasian waduk, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan optimasi terlihat bahwa dari bulan ke bulan tidak pernah terjadi pada level tampungan mati, sehingga masalah untuk segala kebutuhan air dapat teratasi.
2. Untuk melakukan optimasi pada pengoperasian waduk, data input berupa data debit aliran yang diestimasi dari data curah hujan dan data debit andalan sungai, data output berupa data debit kebutuhan air seperti kebutuhan air rumah tangga, ternak, sawah dan perikanan.
3. Dari hasil optimasi pada pengoperasian waduk periode ulang 5 tahun menunjukkan bahwa Volume tampungan air pada akhir bulan Oktober adalah $37.115.930 \text{ m}^3$, akhir bulan November sebesar $91.678.820 \text{ m}^3$ dan akhir bulan Januari sebesar $144.589.300 \text{ m}^3$.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan kesimpulan di atas dapat diberikan saran-saran sebagai rekomendasi sebagai berikut:

Pemerintah Daerah perlu membuat strategi pengopersian waduk secara komprehensif agar kebutuhan air masyarakat dapat selalu terpenuhi.

Daftar Kepustakaan

1. Aminudin, 2005, *Prinsip-prinsip Riset Operasi*, Erlangga, Jakarta.
2. Anonim, 1986, *Standar Perencanaan Irigasi KP-01*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
3. Anonim, 2009, *Aceh Besar Dalam Angka*, BPS Banda Aceh.
4. Asdak Chay, 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
5. Mays L.W., Kounng Tung, Yeow, 1992, *Hydro systems Engineering And Mangement*, McGraw-Hill, New York
6. Razuardi, Ir., MT., 2005, *Pengaruh Optimasi Infiltrasi Tata Guna Lahan Di Banda Aceh Tahun 2010*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
7. Siswanto, 2006, *Operations Research*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
8. Soewarno, 1991, *Hidrologi – Pengukuran dan Pengelolaan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung.
9. Susilah, 2009, *Model Sistem Pengoperasian Waduk di Indonesia*, Unimal Press, Lhokseumawe – Aceh.
10. Triatmodjo Bambang, 2009, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta
11. Wesli, 2008, *Drainase Perkotaan*, Graha Ilmu, Yogyakarta.