

**ANALISIS HIDROLOGI DAN HIDRAULIKA BANGUNAN PENGELAK
(STUDI KASUS BENDUNGAN MANIKIN KABUPATEN KUPANG)****Rezhal Mahmud Riwu Khalid¹ dan Denik Sri Krisnayanti²**^{1,2}*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains & Teknik, Universitas Nusa Cendana**Jl. Adisucipto Penfui., Nusa Tenggara Timur.**Email: denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id***Abstrak**

Bendungan Manikin merupakan salah satu bendungan yang dibangun berlokasi di Kecamatan Taebenu Kabupaten Kupang, berdayatampung normal 20,45 juta m³, direncanakan dengan bentuk terowongan (persegi) agar dapat memenuhi kebutuhan penyediaan air bersih bagi masyarakat di sekitarnya dengan debit 700 liter/detik, seluas 310 hektar (Ha). Bendungan Manikin dilengkapi dengan Bangunan pengelak. Bangunan pengelak adalah sebuah bangunan yang berfungsi untuk mengalihkan aliran air sementara dalam pekerjaan bangunan bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bangunan pengelak apakah mampu mengalirkan aliran banjir dengan banjir rancangan kala ulang 25, 50 dan 100 tahun yaitu analisis hidrologi dengan menggunakan metode HSS Nakayasu dan untuk menghitung dimensi digunakan analisis hidraulika. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah debit banjir kala ulang 25 tahun (Q₂₅) sebesar 333,734 m³/det, kala ulang 50 tahun (Q₅₀) sebesar 375,099 m³/det kala ulang 100 tahun (Q₁₀₀) sebesar 412,792 m³/det. Dimensi saluran pengelak pada Bendungan Manikin yang direncanakan dengan ukuran 3 m x 3 m ini mampu untuk mengalirkan debit banjir kala ulang 25 tahun.

Kata kunci: Bangunan, Pengelak, Hidrologi, Hidraulika.**Abstract**

Manikin Dam is one of the dams built located in Taebenu District, Kupang Regency, with a normal capacity of 20.45 million m³, planned in the form of a tunnel (square) in order to meet the needs of clean water supply for the surrounding community with a discharge of 700 liters / second, covering an area of 310 hectares (Ha). Manikin Dam is equipped with a dodger building. This study aims to analyze whether the dodger building is able to drain flood flows with 25, 50 and 100 year return period design floods, namely hydrological analysis using the HSS Nakayasu method and to calculate dimensions used hydraulic analysis. The results obtained from this study are the 25-year return time flood discharge (Q₂₅) of 333.734 m³/det, 50-year return time (Q₅₀) of 375.099 m³/det and 100-year return time (Q₁₀₀) of 412.792 m³/det. The dimensions of the dodger channel at Manikin Dam, which is planned with a size of 3 m x 3 m, are able to drain the 25-year return period flood discharge.

Key words: Building, Diversion, Hydrology, Hydraulics.

1. Pendahuluan

Kabupaten Kupang merupakan salah satu dari 22 kabupaten yang terdapat pada Provinsi Nusa Tenggara Timur yang memiliki luas daerah 5.434,76 km². Kabupaten Kupang memiliki kondisi topografi meliputi daerah pegunungan, dataran tinggi dan dataran rendah termasuk daerah pantai. Kabupaten Kupang memiliki iklim tropis yang mempunyai dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan.

Musim hujan berkisar kurang lebih selama 4 bulan, yaitu dari bulan Desember sampai bulan Maret dengan curah hujan tahunan rata-rata 150 mm/tahun (Krisnayanti dan Bunganaen, 2018). Pada musim hujan, air hujan melimpah sebagai air permukaan dan terkumpul ke sungai-sungai sebagai banjir dan selanjutnya akan terbuang ke laut. Musim kemarau terjadi berkisar kurang lebih selama 8 bulan, yaitu pada bulan April sampai bulan November yang mengakibatkan debit air menurun drastis dan terjadi kekeringan. Panjangnya musim kemarau menyebabkan permasalahan kurangnya ketersediaan air pada daerah tersebut. Selain perubahan iklim yang tidak menentu, ketersediaan air juga dipengaruhi oleh evapotranspirasi. Evapotranspirasi adalah gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi) (Limantara, 2018). Sehingga perlu adanya waduk untuk permasalahan tersebut.

Bendungan Manikin merupakan solusi dari kekurangan pasokan air pada musim panas dengan berlokasi di Kecamatan Taebenu Kabupaten Kupang, berdayatampung normal 20,45 juta m³, direncanakan dengan bentuk *conduit* (persegi) agar dapat memenuhi kebutuhan penyediaan air bersih bagi masyarakat di sekitarnya dengan debit 700 liter/detik, seluas 310 hektar (Ha). Hal yang perlu diperhatikan dalam membangun bendungan ialah bagaimana cara mengalihkan aliran sungai. Oleh karena itu, pembangunan bendungan direncanakan akan dilengkapi dengan bangunan pengelak. Bangunan pengelak adalah sebuah bangunan yang berfungsi untuk mengalihkan aliran air sementara dalam pekerjaan bangunan bendungan. Bangunan pengelak merupakan struktur vital yang perlu direncanakan secara matang baik konstruksi maupun pelaksanaannya. Bangunan pengelak sebagai penyalur debit banjir dalam periode pelaksanaan konstruksi tubuh bendungan. Aliran sungai dialihkan menuju saluran dengan pembuatan bangunan pengelak (*cofferdam*).

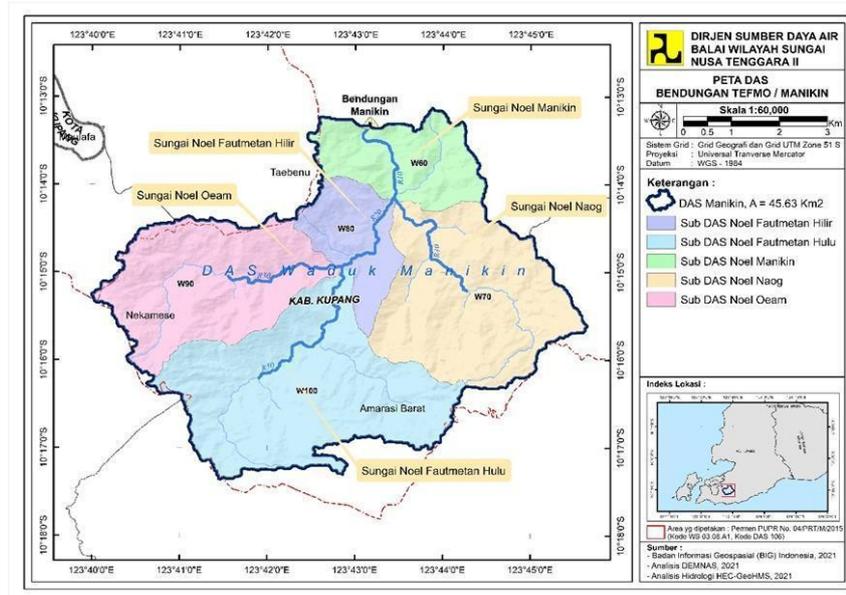
Bangunan pengelak memiliki fungsi mengalihkan aliran sungai melalui saluran pengelak agar pekerjaan konstruksi bendungan utama dan bangunan pelimpah dapat dilaksanakan. Penelitian tentang bangunan pengelak seperti *conduit* sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Rofikha, 2019; Ramadhanti, 2020; Krisnayanti, 2021). Bangunan pengelak pada Bendungan Manikin terdiri dari bangunan pengelak (*cofferdam*) hulu dan saluran pengelak dengan tipe *conduit*. Debit banjir yang digunakan pada bangunan pengelak menggunakan banjir desain kala ulang 25 tahun. Kajian tentang Bangunan Pengelak tipe *conduit* pada Bendungan Manikin belum pernah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan analisis hidrologi dan hidrolika sehingga penulis mengangkat topik penelitian berjudul “Analisis Hidrologi & Hidrolika Bangunan Pengelak (Studi Kasus Pada Bendungan Manikin Kabupaten Kupang)”.

Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya debit banjir rencana kala ulang 25, 50 dan 100 tahun dalam perencanaan DAS Manikin, serta mengetahui dimensi *conduit* (persegi) sudah memadai untuk mengalirkan debit banjir rencana kala ulang 25 tahun pada Bendungan Manikin.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi Studi

Bendungan Manikin yang terletak di Desa Kuaklalo dan Desa Bokong, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang. Untuk peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Bendungan Manikin

2.2. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan dari Stasiun Baun yang diperoleh dari Badan Wilayah Sungai (BWS) Nusa Tenggara II, data klimatologi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Lasiana. Data debit rencana yang diperoleh dari Supervisi Pembangunan Bendungan Manikin. Dan data perencanaan bangunan pengelak diperoleh dari Supervisi Pembangunan Bendungan Manikin.

1. Data curah hujan harian pada pos hujan Baun tahun 1997-2021 (25 tahun)
2. Data klimatologi tahun 1997-2022 (25 tahun) dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Lasiana.
3. Data perencanaan bangunan pelengkap (pengelak tipe *conduit*) pada Bendungan Manikin oleh supervisi.

3.1. Kajian Pustaka

3.1.1. Analisis Hidrologi

Hidrologi merupakan tahapan awal perencanaan suatu rancangan bangunan dalam suatu DAS untuk memperkirakan besarnya debit banjir yang terjadi di daerah tersebut. Pada saat air hujan jatuh ke bumi, sebagian air jatuh langsung ke permukaan bumi dan ada juga yang terhambat oleh vegetasi (intersepsi). Intersepsi memiliki 3 macam, yaitu kehilangan intersepsi (*interception loss*), curahan tajuk (*through fall*) dan aliran batang (*stem flow*). Kehilangan intersepsi adalah air yang jatuh ke vegetasi tetapi belum sampai mencapai tanah sudah menguap. Curahan tajuk adalah air hujan yang tidak langsung jatuh ke bumi, tetapi terhambat oleh dedaunan terlebih dahulu. Aliran batang adalah air hujan yang jatuh ke vegetasi dan mengalir melalui batang vegetasi tersebut (Rahayu dkk., 2009). Urutan analisis hidrologi dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Analisis Frekuensi

Frekuensi curah hujan adalah besaran kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilapui. Analisis frekuensi didasari pada sifat – sifat statistik data kejadian hujan yang telah terjadi untuk memperoleh kemungkinan besaran hujan yang akan terjadi di masa yang akan datang dengan menganggap bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan terjadi di masa yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan yang telah terjadi.

Ada beberapa macam distribusi frekuensi curah hujan yang umum digunakan yaitu (Lubis, 2016):

- Distribusi Normal
- Distribusi Log Normal
- Distribusi Gumbel Tipe I
- Distribusi Log Pearson Tipe III

b. Uji Parameter Statistik

Sebelum menganalisis data hujan dengan salah satu distribusi di atas, perlu pendekatan dengan parameter-parameter statistik untuk menentukan distribusi yang tepat digunakan. Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Parameter Statistik

No	Jenis Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s = 0$
2	Log Normal	$C_s = 3 C_v$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4002$
4	Log Pearson Type III	Selain dari nilai diatas

Sumber: Triatmojo, 2008

c. Uji Kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi peluang yang diperkirakan tersebut (Suripin, 2004). Ada dua parameter yang sering digunakan, yaitu Uji *Chi Kuadrat* dan Uji *Smirnov Kolmogorov*:

d. Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan permukaan adalah angka yang menunjukkan nilai perbandingan antara air hujan yang jatuh pada suatu lahan terhadap air yang menjadi limpasan permukaan. Perhitungan koefisien limpasan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$C = \frac{\sum (C_i)(A_i)}{A_{total}} \quad (1)$$

e. Distribusi Hujan Jam-Jaman

Untuk pendekatan ini digunakan rumus yang dikembangkan oleh Ishiguro pada tahun 1953 di Jepang, yang dikenal dengan Rumus Mononobe. Rumus empiris tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut (Suripin, 2004).

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

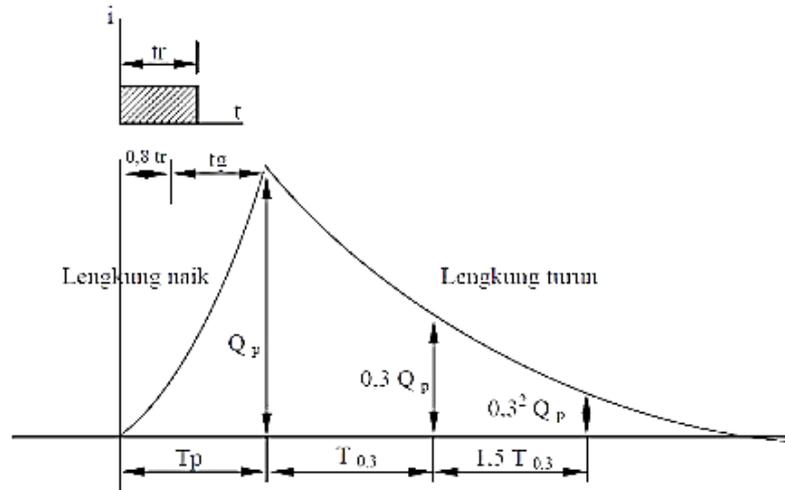
f. Debit Banjir Rencana Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Menurut Triatmodjo B (2008), Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan dalam suatu DAS. Untuk membuat suatu hidrograf banjir pada sungai, perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut.

Adapun karakteristik tersebut adalah:

- 1) Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*).
- 2) Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time log*).
- 3) Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*).
- 4) Luas daerah pengaliran.
- 5) Panjang alur sungai utama (*length of the longest channel*).

Bentuk kurva dari HSS Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

3.1.2. Analisis Hidrolika

Penentuan tinggi *Cofferdam* sangat erat hubungannya dengan penentuan ukuran dari terowongan pengelak. Makin kecil bangunan pengelak maka diperlukan *Cofferdam* yang lebih tinggi. Untuk menentukan tinggi *Cofferdam* dilakukan penelusuran banjir dengan periode ulang 25 tahun (Q_{25} tahun) dengan dikontrol debit periode ulang 50 tahun. Penentuan periode ulang banjir didasarkan pada besarnya risiko yang masih bisa ditanggulangi serta nilai ekonomi bangunan *cofferdam* yaitu umur *cofferdam*. Untuk analisis hidraulika pada saluran pengelak ini dibahas mengenai kapasitas pengaliran melalui saluran pengelak, baik melalui terowongan pengelak maupun *conduit* karena prinsip dasar dari pengelak tersebut adalah sama.

a. Kapasitas Aliran

Kapasitas pengaliran saluran ini dibedakan menjadi tiga kondisi yaitu, pada saat aliran bebas (*free flow*) yaitu pada saat sifat hidrolis yang terjadi berupa hidraulika saluran terbuka, aliran transisi dan kondisi pada saat aliran tertekan yaitu pada saat sifat hidrolis yang terjadi berupa hidraulika saluran tertutup.

Bila debit yang terjadi lebih besar dari debit kritis, maka aliran dalam *conduit* bersifat super kritis. Bila terjadi sebaliknya, maka aliran bersifat subkritis. Untuk nilai koefisien kekasaran Manning dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Bahan Saluran	Max	Min
Pipa beton jadi atau dicor di tempat	0,014	0,008
Pipa baja dengan sambungan dilas	0,012	0,008
Terowongan batuan alami	0,035	0,020

b. Penelusuran Banjir Lewat Saluran Pengelak

Penelusuran banjir adalah merupakan perkiraan hidrograf di suatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf di titik lain. Hidrograf banjir dapat ditelusuri lewat palung sungai atau waduk. Tujuan penelusuran banjir adalah untuk (Soemarto, 1999):

1. Perkiraan banjir jangka pendek.
2. Perhitungan hidrograf satuan untuk berbagai titik sepanjang sungai dari hidrograf satuan di suatu titik di sungai tersebut.
3. Perkiraan terhadap kelakuan sungai setelah terjadi perubahan dalam palung sungai (misalnya karena adanya pembangunan bendungan atau pembuatan tanggul).
4. Derivasi hidrograf sintetis.

3.2. Metode

Setelah melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan, maka tahapan selanjutnya adalah analisis data. Berikut tahapan analisis data yang dilakukan:

1. Analisis Hidrologi
 - Analisis frekuensi untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang 25, 50 dan 100 tahun dengan metode distribusi hujan yang digunakan adalah Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Person Tipe III dan Distribusi Gumbel.
 - Uji kecocokan distribusi frekuensi menggunakan 2 metode yaitu Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov Kolmogorov.
2. Analisis Debit Banjir Rencana
 - Menghitung intensitas curah hujan dengan metode Mononobe.
 - Menghitung curah hujan efektif.
 - Menghitung analisa debit banjir rencana dengan metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu.
3. Analisis Hidraulika
 - Menghitung dan menganalisis kapasitas aliran
 - Perhitungan penelusuran banjir.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Hidrologi

1. Rekapitulasi Data Curah Hujan

Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian untuk tahun yang bersangkutan (Suripin, 2004). Data curah hujan yang digunakan adalah data pos hujan Baun dan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II (BWS NTII) dan Badan Meteorologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Lasiana Kupang (BMKG). Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan harian maksimum tahunan selama 25 tahun (1997-2021). Nilai curah hujan harian maksimum tahunan ditentukan dengan mengambil nilai curah hujan harian yang tertinggi selama 1 tahun, dari bulan Januari sampai Desember. Dari data hujan pada tahun 1997 nilai curah hujan yang paling besar yaitu pada tanggal 18 Februari dengan nilai 120,00 mm. Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (CHHMT) dari pos hujan Baun beserta dengan tanggal terjadinya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi (CHHMT) Pos Hujan Baun

No	Tahun	Curah Hujan Harian	Tanggal Terjadi	
		Maksimum Tahunan (mm)	Tanggal	Bulan
1	1997	120	18	Februari
2	1998	145	21	Januari
3	1999	115	19	Maret
4	2000	115	30	Januari

5	2001	160	6	Januari
6	2002	60	11	April
7	2003	115	4	Februari
8	2004	72	22	Desember
9	2005	90	16	Maret
10	2006	110	4	Maret
11	2007	155	3	Maret
12	2008	105	27	Desember
13	2009	65	14	Desember
14	2010	117	1	Agustus
15	2011	117	19	April
16	2012	101	13	Maret
17	2013	106	21	Februari
18	2014	85	19	Februari
19	2015	127	25	Januari
20	2016	93,5	22	Maret
21	2017	71	22	Desember
22	2018	90	16	Maret
23	2019	90,6	17	Maret
24	2020	97,8	4	Desember
25	2021	329	5	April

2. Analisis Frekuensi

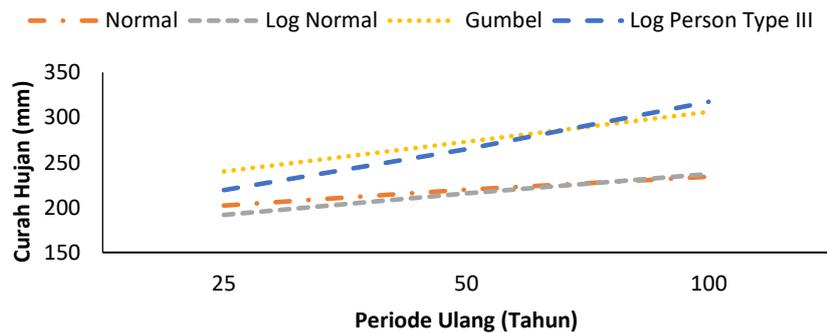
Berdasarkan Tabel 3 bisa dilakukan analisis frekuensi. Analisis frekuensi dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rancangan pada kala ulang tertentu. Kala ulang yang digunakan dalam penelitian ini adalah kala ulang 25, 50 dan 100 tahun. Pada analisis curah hujan rancangan untuk pos hujan Baun Bendungan Manikin digunakan 4 (empat) metode, yaitu Metode Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel Tipe I dan Distribusi Log Pearson Tipe III. Data yang diperlukan dalam analisis ini adalah data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (CHHMT) dengan panjang data 25 tahun (1997-2021) dari hasil perhitungan curah hujan wilayah rata-rata.

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi curah hujan rancangan untuk setiap kala ulang dengan berbagai metode distribusi yang ada, maka hasil rekapitulasi perhitungan curah hujan rancangan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Berbagai Metode Distribusi

Kala Ulang, Tahun	Curah Hujan Rencana Untuk Setiap Distribusi (mm)			
	D. Normal	D. Log Normal	D. Gumbel	D. Log Pearson Type III
25	202,081	191,701	240,016	219,234
50	219,683	215,462	273,219	264,671
100	234,107	237,113	306,182	317,347

Jika dilihat dari tabel rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan rancangan dengan berbagai metode distribusi nilai curah hujan rancangan yang paling besar adalah distribusi log person tipe III. Untuk gambar grafik curah hujan rancangan dengan berbagai metode distribusi dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan Rancangan dengan Berbagai Metode Distribusi

Dari gambar grafik curah hujan rancangan dengan berbagai metode distribusi di atas yang paling besar dan paling curam grafik curah hujan rencana yaitu Metode Distribusi Log Person Tipe III.

3. Uji Persyaratan Statistik

Setelah dilakukannya perhitungan Analisis frekuensi untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan 4 metode distribusi berikut adalah ketentuan parameter pemilihan distribusi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Persyaratan Statistik

Jenis Distribusi	Cs	Cv	Ck	Hasil Uji	
Normal	3,184	0,451	15,819	Cs = 0	Tidak Memenuhi
Log Normal	0,926	0,073	7,088	Cs = 3Cv	Tidak Memenuhi
Gumbel	3,184	0,451	15,819	Cs = 1,14 Ck = 5,4002	Tidak Memenuhi
Log Pearson Tipe III	Jika Semua Syarat Tidak Memenuhi				Memenuhi

Berdasarkan hasil uji persyaratan statistic pada Tabel 5, dapat diketahui metode distribusi yang memenuhi adalah metode distribusi Log Pearson Tipe III. Sehingga untuk perhitungan selanjutnya akan menggunakan hasil perhitungan frekuensi curah hujan dengan metode distribusi Log Pearson Tipe III.

4. Uji Persyaratan Statistik

Hasil perhitungan frekuensi curah hujan dengan metode distribusi Log Pearson Tipe III akan dilakukan uji kecocokan dengan menggunakan dua parameter pengujian yaitu Uji Chi-Kuadrat dan Uji Smirnov Kolmogorov.

a. Uji Chi-Kuadrat

Maka hasil perhitungan uji Chi-Kuadrat disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Uji Chi-Kuadrat

Nilai Intelval Tiap Kelas			Frekuensi Harapan (EF)	Frekuensi Tiap Kelas (OF)	(OF – EF) ²	X ²
50,00	-	70,00	4,167	2	4,694	1,13
70,00	-	90,00	4,167	5	0,694	0,17
90,00	-	110,00	4,167	7	8,028	1,93
110,00	-	130,00	4,167	7	8,028	1,93
130,00	-	150,00	4,167	2	4,694	1,13
150,00	-	160,00	4,167	2	4,694	1,13
Jumlah			25,000	25	30,833	7,40
					Chi- Kritis	7,82

b. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Perhitungan Uji *Smirnov Kolmogorov* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan Uji *Smirnov Kolmogorov*

M	X	Log X	P(X) M/(N+1)	P(X<)	ft = (M-Xrt)/SlogX	P'(x) = M/(N-1)	P'(X<)	D
1	2	3	4 = 1/(N+1)	5 = 1 - 4	6 = (1 - Xrt) / SlogX	7 = 1/(N - 1)	8 = 1 - 7	9 = 8 - 5
1	329	2,52	0,04	0,96	-10,72	0,04	0,96	0,00
2	160	2,20	0,08	0,92	0,25	0,08	0,92	-0,01
3	155	2,19	0,12	0,88	11,22	0,13	0,88	-0,01
4	145	2,16	0,15	0,85	22,20	0,17	0,83	-0,01
5	127	2,10	0,19	0,81	33,17	0,21	0,79	-0,02
6	120	2,08	0,23	0,77	44,15	0,25	0,75	-0,02
7	117	2,07	0,27	0,73	55,12	0,29	0,71	-0,02
8	117	2,07	0,31	0,69	66,09	0,33	0,67	-0,03
9	115	2,06	0,35	0,65	77,07	0,38	0,63	-0,03
10	115	2,06	0,38	0,62	88,04	0,42	0,58	-0,03
11	115	2,06	0,42	0,58	99,01	0,46	0,54	-0,04
12	110	2,04	0,46	0,54	109,99	0,50	0,50	-0,04
13	106	2,03	0,50	0,50	120,96	0,54	0,46	-0,04
14	105	2,02	0,54	0,46	131,94	0,58	0,42	-0,04
15	101	2,00	0,58	0,42	142,91	0,63	0,38	-0,05
16	98	1,99	0,62	0,38	153,88	0,67	0,33	-0,05
17	94	1,97	0,65	0,35	164,86	0,71	0,29	-0,05
18	91	1,96	0,69	0,31	175,83	0,75	0,25	-0,06
19	90	1,95	0,73	0,27	186,81	0,79	0,21	-0,06
20	90	1,95	0,77	0,23	197,78	0,83	0,17	-0,06
21	85	1,93	0,81	0,19	208,75	0,88	0,13	-0,07
22	72	1,86	0,85	0,15	219,73	0,92	0,08	-0,07
23	71	1,85	0,88	0,12	230,70	0,96	0,04	-0,07
24	65	1,81	0,92	0,08	241,68	1,00	0,00	-0,08
25	60	1,78	0,96	0,04	252,65	1,04	-0,04	-0,08
	Xrt	1,98			Dmax			0,00
	SlogX	0,09			Dkritis			0,27
	N	25,0			Keputusan			diTerima
		0						

Berdasarkan Tabel Uji *Smirnov Kolmogorov* maka diperoleh data: Dmax = 0,08 %. Nilai D Kritis berdasarkan Lampiran 6/115 (Tabel 8. Nilai Kritis Uji *Smirnov Kolmogorov*) dengan banyak data (n) = 25 dan taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka Dkritis sebesar 0,27%. Sehingga Dkritis > Dmax = 0,27% > 0,08%. Dengan demikian D_{kritis} lebih besar dari Dmax, maka Hipotesa Metode Log Pearson Tipe III diterima.

5. Perhitungan Koefisien Limpasan (C)

Berdasarkan hasil analisis peta tata guna lahan dari Laporan Desain Supervisi diperoleh luasan masing-masing tata guna lahan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Penggunaan Lahan Bendungan Manikin

No.	Tata Guna Lahan	Luas Area (km ²)	Ratio (%)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,41	0,90
2	Pemukiman	0,29	0,64

3	Perkebunan	7,42	16,26
4	Pertanian Lahan Kering	0,29	0,64
5	Savana	0,05	0,11
6	Sawah	0,13	0,28
7	Semak Belukar	36,79	80,64
8	Tubuh Air	0,24	0,53
Total Luas Area (A_{total})		45,62	100,00

Nilai koefisien pengaliran pada *catchment* area berdasarkan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Penggunaan Lahan Bendungan Manikin

No.	Tata Guna Lahan	Luas Area (km ²)	Koefisien Limpasan (C)	C x A
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,41	0,60	0,25
2	Pemukiman	0,29	0,95	0,28
3	Perkebunan	7,42	0,80	5,94
4	Pertanian Lahan Kering	0,29	0,80	0,23
5	Savana	0,05	0,60	0,03
6	Sawah	0,13	0,56	0,07
7	Semak Belukar	36,79	0,50	18,40
8	Tubuh Air	0,24	0,75	0,18
Total Luas Area (A_{total})		45,62	$\sum C_i A_i$	25,37

Berdasarkan tabel di atas, maka nilai untuk koefisien limpasan (C) rata-rata pada *catchment area* tersebut dengan menggunakan Persamaan (2.30) adalah sebagai berikut.

Diketahui :

Luas Total Area $A_{total} = 45,62 \text{ km}^2$

Jumlah koefisien limpasan penggunaan lahan tertentu x Luas Total Area $A_{tot} = 25,37 \text{ km}^2$

didapat nilai $C = 0,56$

6. Distribusi Curah Hujan Jam-Jaman

Distribusi hujan jam-jaman pada perhitungan ini menggunakan persentase distribusi hujan selama 4 jam. Setelah diperoleh rasio sebaran hujan maka dilanjutkan dengan perhitungan distribusi curah hujan jam-jaman Hasil perhitungan selanjutnya distribusi hujan jam-jaman untuk berbagai kala ulang selama 4 jam dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Perhitungan Uji Smirnov Kolmogorov

Waktu	Intensitas	Ratio	Curah Hujan Pada Kala Ulang (mm)		
			25 Tahun	50 Tahun	100 tahun
Sebaran Hujan Jam - jaman (mm)					
191,701 215,462 237.113					
1	0,63	0,63	120,76	135,73	149,37
2	0,40	0,16	31,39	35,28	38,82
3	0,30	0,11	22,02	24,75	27,23
4	0,25	0,09	17,53	19,70	21,68

7. Analisis Debit Banjir Metode HSS Nakayasu

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka rekapitulasi perhitungan bentuk ordinat hidrograf HSS Nakayasu pada *catchment area* bisa dilihat pada Tabel 11.

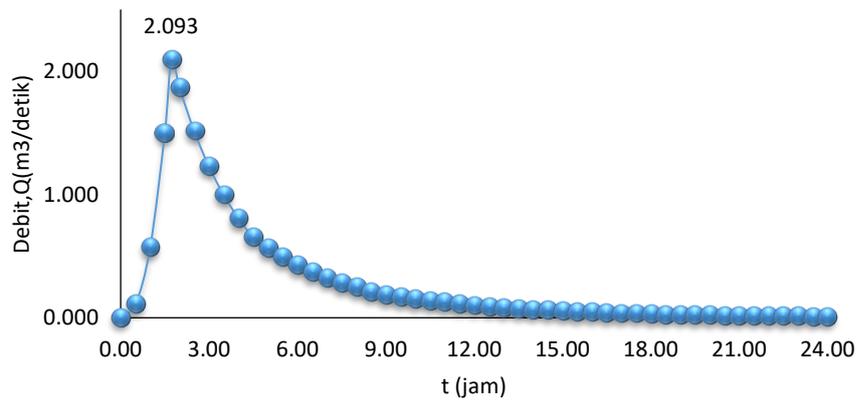
Tabel 11. Rekapitulasi Ordinat Bentuk Hidrograf HSS Nakayasu

t (jam)	Q (m ³ /dtk)	Ket	t (jam)	Q (m ³ /dtk)	Ket
0,00	0,000		12,00	0,099	
0,50	0,107	Qa	12,50	0,089	
1,00	0,566	Qp	13,00	0,080	
1,50	1,498		13,50	0,072	
1,72	2,093		14,00	0,065	
2,00	1,864		14,50	0,058	
2,50	1,512	Qd1	15,00	0,053	
3,00	1,226		15,50	0,047	
3,50	0,995		16,00	0,043	
4,00	0,807		16,50	0,038	
4,50	0,654		17,00	0,035	
5,00	0,561		17,50	0,031	
5,50	0,488		18,00	0,028	Qd3
6,00	0,424		18,50	0,025	
6,50	0,369	Qd2	19,00	0,023	
7,00	0,321		19,50	0,020	
7,50	0,279		20,00	0,018	
8,00	0,243		20,50	0,017	
8,50	0,211		21,00	0,015	
9,00	0,185		21,50	0,013	
9,50	0,166		22,00	0,012	
10,00	0,150		22,50	0,011	
10,50	0,135		23,00	0,010	
11,00	0,122		23,50	0,009	
11,50	0,109		24,00	0,008	

Dari tabel rekapitulasi ordinat bentuk hidrograf hss Nakayasu bisa kita buat gambar grafik, untuk gambar Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Pada DAS Manikin bisa dilihat pada Gambar 3.

Langkah selanjutnya melakukan super posisi Hss Nakayasu menjadi hidrograf banjir agar dapat mengetahui debit banjir maksimum pada periode yang telah ditentukan dan *Probable Maximum Flood* (PMF) dengan distribusi hujan efektif selama 24 jam.

Berdasarkan hasil superposisi Nakayasu dari periode kala ulang 25 tahun Lampiran 32/141, periode kala ulang 50 tahun Lampiran 34/143, dan periode kala ulang 100 tahun Lampiran 36/145. Selanjutnya melakukan rekapitulasi hidrograf banjir atau debit banjir rancangan yang ditunjukkan pada Tabel 12.

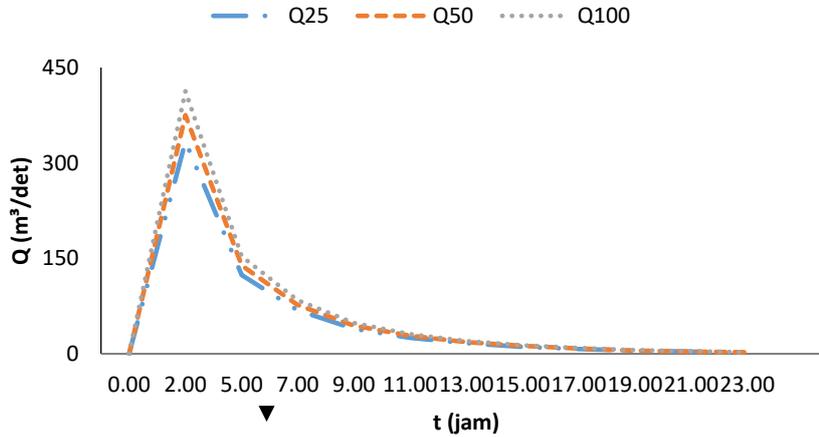


Gambar 4. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Pada DAS Manikin

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Superposisi Debit Banjir Rancangan

t	Q25	Q50	Q100	t	Q25	Q50	Q100
(jam)	(m³/det)	(m³/det)	(m³/det)	(jam)	(m³/det)	(m³/det)	(m³/det)
0,00	0,000	0,000	0,000	12,00	20,381	22,907	25,209
0,50	12,950	14,555	16,018	12,50	18,355	20,630	22,703
1,00	71,716	80,605	88,705	13,00	16,529	18,578	20,445
1,50	200,994	225,906	248,607	13,50	14,886	16,731	18,412
1,72	314,067	352,993	388,466	14,00	13,406	15,067	16,581
2,00	333,734	375,099	412,792	14,50	12,073	13,569	14,933
2,50	313,451	352,302	387,705	15,00	10,872	12,220	13,448
3,00	273,286	307,159	338,025	15,50	9,791	11,005	12,111
3,50	224,571	252,405	277,769	16,00	8,818	9,910	10,906
4,00	182,130	204,704	225,275	16,50	7,941	8,925	9,822
4,50	147,711	166,018	182,702	17,00	7,151	8,037	8,845
5,00	123,493	138,799	152,747	17,50	6,440	7,238	7,966
5,50	105,090	118,116	129,985	18,00	5,800	6,519	7,174
6,00	90,394	101,598	111,807	18,50	5,223	5,870	6,460
6,50	78,477	88,203	97,067	19,00	4,704	5,287	5,818
7,00	68,248	76,708	84,416	19,50	4,236	4,761	5,239
7,50	59,353	66,710	73,414	20,00	3,815	4,288	4,718
8,00	51,618	58,015	63,845	20,50	3,435	3,861	4,249
8,50	44,890	50,454	55,524	21,00	3,094	3,477	3,827
9,00	39,181	44,037	48,462	21,50	2,786	3,131	3,446
9,50	34,800	39,114	43,044	22,00	2,509	2,820	3,104
10,00	31,091	34,944	38,456	22,50	2,260	2,540	2,795
10,50	27,905	31,364	34,516	23,00	2,035	2,287	2,517
11,00	25,130	28,245	31,084	23,50	1,833	2,060	2,267
11,50	22,632	25,437	27,993	24,00	1,650	1,855	2,041

Berdasarkan hasil rekapitulasi hidrograf banjir atau banjir rencana pada Tabel 10 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 dengan debit puncak untuk kala ulang 25 tahun adalah sebesar 333,734 m³/det. Berdasar hasil superposisi Nakayasu dari periode kala ulang 50 tahun dengan debit puncak 375,099 m³/det. Berdasarkan Lampiran 34/143, maka Grafik Hidrograf HSS Nakayasu hasil superposisi dapat dilihat pada Lampiran 35/144. Berdasar hasil superposisi Nakayasu dari periode kala ulang 100 tahun dengan debit puncak 412,792 m³/det.



Gambar 5. Rekapitulasi Hidrograf Debit Maksimum HSS Nakayasu

Dari grafik rekapitulasi hidrograf debit maksimum HSS Nakayasu bisa disimpulkan bahwa semakin besar kala ulang maka semakin besar debit banjir yang dihasilkan.

4.2 Analisis Teknis Bangunan Pengelak (Conduit)

Sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, untuk debit banjir rancangan periode ulang 25 tahun (Q25) sebesar 333,734 m³/det. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan teknis bangunan pengelak.

1. Data Bangunan Pengelak

Untuk data teknis bangunan pengelak dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Data Teknis Saluran Pengelak

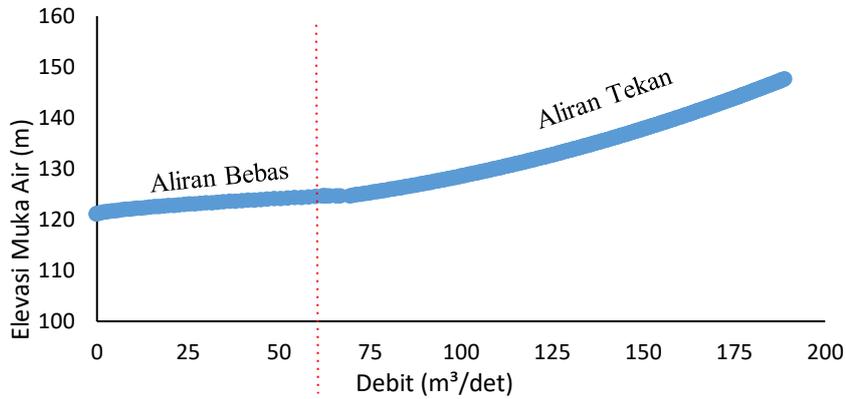
No	Tipe	Conduit Persegi
1	Elevasi inlet Conduit	+121,00 m
2	Elevasi outlet Conduit	+120,50 m
3	Panjang Conduit	3,30 m
4	Dimensi/Diameter	3,00 m
5	Kemiringan Conduit	0,15
6	Konstruksi (Beton)	0,014

Untuk pengelak direncanakan dengan model *conduit* (persegi) berjumlah 1 buah dan berdimensi B = 3,00 m dan B = 3,00 m.

2. Analisis Bangunan Pengelak

Untuk mengetahui karakter aliran dalam terowongan maka harus diketahui tinggi permukaan air di bagian pemasukan (*inlet*). Elevasi dasar pemasukan sebesar +120,00. Debit yang mengalir ke dalam terowongan tergantung pada ketinggian air di depan lubang pemasukan.

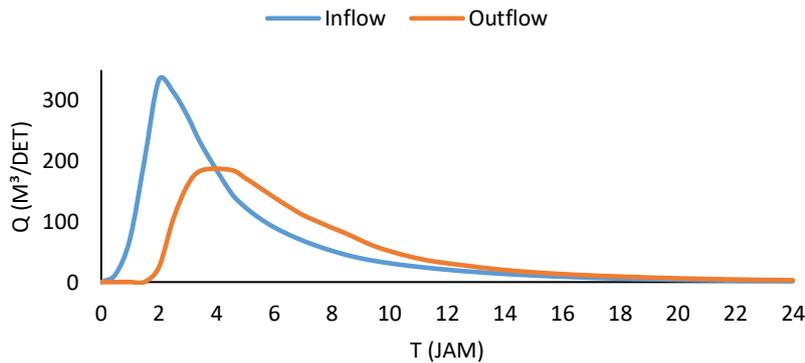
Selanjutnya akan dilakukan perhitungan aliran pada pengelak dengan dua kondisi aliran yaitu kondisi aliran bebas (*free flow*) dan kondisi aliran tekan (*pressure flow*). Untuk Hasil Perhitungan bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Hubungan H dan Q

a. Penelusuran Banjir Pada Bangunan Pengelak

Penelusuran aliran merupakan prosedur untuk menentukan waktu dan debit aliran (hidrograf aliran) pada suatu titik aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui di sebelah hulu. Apabila aliran tersebut adalah banjir maka prosedur tersebut dikenal dengan penelusuran banjir.



Gambar 7. Hubungan debit inflow dan outflow Q₂₅

Dari Gambar 6 Setelah dihitung Penelusuran banjir maka didapatkan *Inflow* puncak sebesar 333,734 m³/detik diperoleh debit *outflow* maksimum untuk debit banjir Q₂₅ dengan besar rencana dimensi pengelak 3,00 m x 3,00 m sebesar 185,077 m³/detik dengan ketinggian muka air 11.483 m.

b. Pembahasan Teknis Saluran Pengelak Bendungan Manikin

Untuk menganalisis bangunan pengelak pada Bendungan Manikin, memerlukan analisis hidrologi untuk mengetahui debit banjir rencana dan analisis hidraulika untuk mengetahui dimensi pengelak. Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan, debit *inflow* dan *outflow* bangunan pengelak pada Bendungan Manikin ini menunjukkan perbedaan hasil antara konsultan supervisi dan peneliti, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Perbandingan Hasil Analisis

Lokasi	Parameter	Hasil Analisis	
		Konsultan Supervisi	Peneliti
Bangunan Pengelak	<i>Inflow</i>	271,30	333,734
	<i>Outflow</i>	105,12	185,077
	<i>Elevasi</i>	131,20	132,483

Perbedaan hasil yang terdapat pada tabel diatas disebabkan oleh metode yang digunakan. Dalam analisis ini peneliti menggunakan metode HSS Nakayasu untuk menghitung debit *Inflow*, sedangkan konsultan supervisi menggunakan metode HSS SCS. Dari hasil perhitungan, perencanaan dimensi yang baru tidak perlu dilakukan karena masih mampu untuk mengalirkan dengan dimensi 3,00 x 3,00 m didapat *inflow* sebesar 333,734 m³/dt dan *outflow* sebesar 185,077 m³/dt, karena elevasi puncak rencana *cofferdam* Hulu berada di 136,00 mdpl.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- 1) Perhitungan debit banjir rancangan periode ulang dengan menggunakan metode HSS Nakayasu periode ulang 25 tahun diperoleh debit maksimal sebesar 333,734 m³/detik, periode ulang 50 tahun sebesar 375,099 m³/detik dan periode ulang 100 tahun sebesar 412,792 m³/detik.
- 2) Dimensi saluran pengelak pada bendungan Manikin dengan ukuran 3 x 3 m telah atau dikatakan mampu untuk menyalurkan debit banjir periode ulang 25 tahun dengan menggunakan metode HSS Nakayasu sebesar 333,734 m³/detik dan hasil penelusurannya sebesar 185,077 m³/detik dari hasil tersebut dihasilkan tinggi *Cofferdam* 132,483 mdpl.

Daftar Pustaka

- Bambang Triatmodjo, (2008). Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.
- Krisnayanti, D.S., Bunganaen, W. 2018. Koefisien Limpasan Permukaan untuk Embung Kecil di Nusa Tenggara Timur. Lembaga Universitas Nusa Cendana Kupang, Kupang.
- Limantara, L. M. (2018). Rekeyasa Hidrologi Edisi Revisi, Andi, Yogyakarta.
- Lubis, F. (2016). Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan Drainase Pemukiman Di Kecamatan Kandis. Siklus: Jurnal Teknik Sipil, 2(1): 35-39
- Rahayu, S. dkk. (2009). Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai. World Agroforestry Center ICRAF Asia Tenggara: Bogor.
- Ramadhanti, D., Triatmodjo, B. (2020). Perencanaan Bangunan Pengelak dan Pelimpah Menggunakan Perangkat Lunak HEC-HMS dan HEC-RAS Studi Kasus: Waduk Gondang, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Skripsi. UGM. Yogyakarta 40.
- Rofikha, A. A., Marsudi, S. dan Cahya, E. N. (2019). Analisis Struktur Terowongan Pengelak pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara. Jurnal Teknik Pengairan, Vol. 10(1): 28-38.
- Soemarto, CD. (1999). Hidrologi – Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai – Hidrometri. Penerbit Nova: Bandung.
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Yang Berkelanjutan. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.