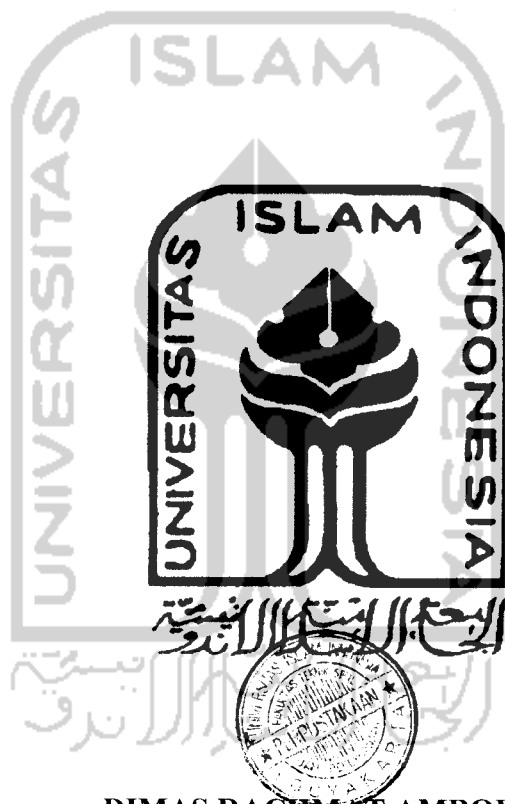


| | |
|-----------------------|---------------|
| PERPUSTAKAAN FTSP UII | |
| HADIAN/BELE | |
| TGL. TERIMA : | 3-12-2007 |
| NO. JUDUL : | 2643 |
| NO. INV. : | 5120002643001 |
| NO. INDUK : | 002643 |

TUGAS AKHIR

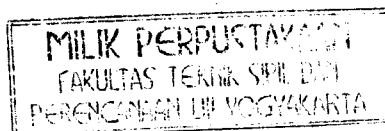
**KOMPARASI NILAI INDEKS Φ ATAS DASAR FUNGSI
TINGGI HUJAN DENGAN HSS GAMMA I SERTA
IMPLIKASINYA TERHADAP NILAI BANJIR RANCANGAN
(STUDI KASUS : DAS CODE TERUKUR DI POGUNG)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



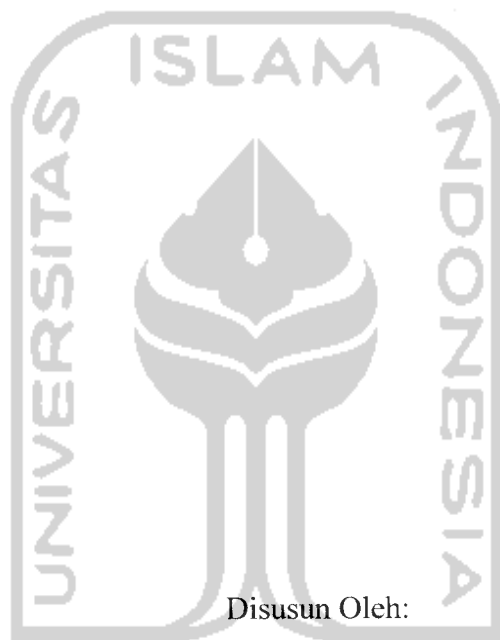
**DIMAS RACHMAT AMBORO
02.511.072**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007**



TUGAS AKHIR
KOMPARASI NILAI INDEKS Φ ATAS DASAR FUNGSI
TINGGI HUJAN DENGAN HSS GAMMA I SERTA
IMPLIKASINYA TERHADAP NILAI BANJIR RANCANGAN
(STUDI KASUS : DAS CODE TERUKUR DI POGUNG)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh:

DIMAS RACHMAT AMBORO
02.511.072

Disetujui :

Pembimbing:

Ir. Bambang Sulistiono, MSCE.

Tanggal: 02/03 - 2007.

PERSEMBAHAN



Bapak & Ibu ...

Engkau telah melahirkan aku

Engkau telah merawatku & melindungiku

Engkau telah mendidik & membimbingku

Saudaraku...

Engkau telah menemaniku

Engkau telah membantuku

Engkau telah memberi yang terbaik

Civitas Akademika..

Karenamu kudapatkan ilmu

Karenamu derajatku tinggi

Karenamu sampailah aku di sini

Kupersembahkan untuk semua...

Dengan segala kemampuan dan keterbatasan...

Imbalan terbesar pada suatu hal/pekerjaan yang kita lakukan

adalah

bukan hasil yang akan diperoleh,

melainkan

akan menjadi apa kita karenanya

PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah, taufik dan hidayah-Nya. Berkat ridho-Nya, salah satu persyaratan akademik, yaitu Tugas Akhir dengan judul “KOMPARASI NILAI INDEKS Φ ATAS DASAR FUNGSI TINGGI HUJAN DENGAN HSS GAMMA I SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP NILAI BANJIR RANCANGAN (STUDI KASUS: DAS CODE TERUKUR DI POGUNG)” dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini nantinya akan digunakan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil pada program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir, tentunya tidak lepas dari segala hambatan dan rintangan, namun berkat bantuan material, moral maupun spiritual dari berbagai pihak, akhirnya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Pada kesempatan ini, tidak berlebihan kiranya jika saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. DR. Edi Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. H. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. Faizol, AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
5. Seluruh Dosen dan Karyawan pengelola kampus Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Direktur Utama dan seluruh staf/karyawan Badan Perencanaan Daerah (BAPEDA), yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan survey penelitian dan pencarian data.

7. Bapak Kepala Balai PSDA Wilayah Sungai Progo–Opak–Oyo Yogyakarta yang telah memberikan rekomendasi untuk melakukan survey dan pencarian data tentang data curah hujan dan data debit.
8. Bapak, Ibu, kakak beserta seluruh keluarga besar bapak Sugiyanto yang telah memberikan bantuan dan dorongan untuk tetap melakukan segala sesuatu hal yang terbaik dan bermanfaat.
9. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2002 yang telah satu langkah dalam mengayuh perahu sampai tepian dalam mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil.
10. Hamid dan Anton sebagai teman satu perjuangan dalam Tugas Akhir, atas bantuan dan kerja samanya.
11. Sobat satu kos Giya Sadewa yang selalu menemani dan menghibur dalam suka dan duka.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik dalam pelaksanaan maupun dalam pembuatan laporan Tugas Akhir.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan mahasiswa pada umumnya. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua.

Amin Ya Robbal'alamin.

Yogyakarta, 2 Maret 2007

Penyusun:



Dimas Rachmat Amboro
(02.511.072)

ABSTRAK

Hujan yang tidak menjadi aliran permukaan disebut kehilangan hujan, yang berupa evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, intersepsi, infiltrasi dan tampungan sementara pada permukaan tanah. Besarnya kehilangan hujan dinyatakan dengan indeks Φ . Model indeks Φ yang didapatkan dalam penelitian Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I mendasarkan karakteristik DAS, yaitu: luas DAS dan frekuensi sumber, sedangkan tinggi hujan yang dimungkinkan mempengaruhi indeks Φ tidak disampaikan. Oleh karena itu, tulisan ini mencoba meneliti hubungan tinggi hujan terhadap nilai indeks Φ serta membandingkan (komparasi) antara nilai banjir rancangan cara HSS Gama I dengan nilai banjir rancangan apabila tinggi hujan merupakan variabel dalam indeks Φ .

Metode yang digunakan adalah analitik-komparatif. Penelitian dilakukan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun. Data yang digunakan adalah data hujan dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2005 dan grafik AWLR berdasar data dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2005. Penelitian dilakukan pada DAS Code terukur di Pogung dengan mengambil empat stasiun hujan, yaitu: Kemput, Angin-angin, Prumpung dan Beran.

Hasil yang diperoleh adalah tinggi hujan (R_T) dapat dijadikan variabel bebas terhadap indeks Φ sebagai komponen dalam analisis banjir rancangan dengan model empiris ($\text{indeks } \Phi = 1,5085 \cdot \ln(R_T) + 0,7147$), dalam tingkat penerimaan tertentu/terbaik dari data yang tersedia. Dari model empiris indeks Φ yang didapat, diketahui korelasi antara variabel tinggi hujan (R_T) dan indeks Φ cukup erat ($R = 0,7846$) dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 59,29%. Indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan nilainya lebih kecil $\pm 20\%$ sampai dengan 26% dari nilai indeks Φ dari hasil penelitian HSS Gamma I. Banjir rancangan dengan indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan nilainya lebih besar $\pm 3,45\%$ sampai dengan 16,39% dari nilai banjir rancangan cara HSS Gamma I.

Kata kunci: indeks Φ , tinggi hujan, Daerah Aliran Sungai

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------|
| LEMBAR JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERSEMBAHAN | iii |
| PENGANTAR | iv |
| ABSTRAK..... | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR NOTASI | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Pokok Permasalahan | 2 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| 1.6 Batasan Masalah | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Siklus Hidrologi | 5 |
| 2.2 Hujan | 7 |
| 2.2.1 Pengukuran Hujan | 8 |
| 2.2.2 Hujan Rerata | 11 |
| 2.2.3 Hujan Rancangan | 15 |
| 2.3 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I | 21 |
| 2.4 Kehilangan Hujan (Φ) | 25 |
| 2.5 Hidrometri | 26 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.5.1 | Pengukuran Debit Sungai | 26 |
| 2.5.2 | Alat Ukur Tinggi Muka Air | 27 |
| 2.5.3 | Analisis Debit | 29 |
| 2.6 | Banjir Rancangan | 29 |
| 2.7 | Studi Terdahulu | 32 |
| BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN | | 34 |
| 3.1 | Lokasi | 34 |
| 3.2 | Cara Penelitian | 34 |
| 3.3 | Pengumpulan Data | 36 |
| 3.4 | Persiapan Data | 37 |
| 3.4.1 | Hujan Rerata DAS | 37 |
| 3.4.2 | Hujan Harian Rerata Maksimum Tahunan | 38 |
| 3.4.3 | Karakteristik DAS Code Terukur Di Pogung | 38 |
| 3.4.4 | Debit Rerata Tanpa Banjir | 39 |
| 3.4.5 | Hujan Efektif Terukur | 40 |
| 3.4.6 | Tinggi Hujan Terukur | 41 |
| 3.5 | Analisis Data | 42 |
| 3.5.1 | Hujan Rancangan | 42 |
| 3.5.2 | Parameter HSS Gamma I | 45 |
| 3.5.3 | Indeks Φ | 48 |
| 3.5.4 | Banjir Rancangan | 51 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 56 |
| 4.1 | Hasil | 56 |
| 4.2 | Pembahasan | 57 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 60 |
| 4.1 | Kesimpulan | 60 |
| 4.2 | Saran | 60 |

DAFTAR PUSTAKA..... 61

LAMPIRAN



DAFTAR NOTASI

A = Luas

AU = Luas area bagian hulu

a = Parameter kemencengan

Ck = Koefisien kurtosis

Cs = Koefisien kemencengan (*scewness coefficient*)

Cv = Koefisien variasi (*variant coefficient*)

D = Kerapatan jaringan kuras

DAS = Daerah aliran sungai

He = Hujan efektif

HSS = Hidrograf Satuan Sintetik

Htotal = Tinggi hujan total yang ditinjau

JN = Jumlah pertemuan sungai

K = Koefisien tampungan sebagai parameter HSS Gamma I

k = koefisien kemencengan dari logaritma data

k_T = Faktor frekuensi untuk kala ulang T

L = Panjang sungai utama

n = Jumlah data; jumlah titik pengamatan

P = Curah hujan

\bar{P} = Curah hujan rerata

QB = Aliran dasar sebagai parameter HSS Gamma I

Q_{bf} = Aliran dasar tanpa banjir

Qll = Debit limpasan langsung

Q_{LLmax}(T) = Debit limpasan langsung pada kala ulang tertentu

QP = Debit puncak sebagai parameter HSS Gamma I

Q, Qs = Debit sungai

Qsmax = Debit sungai maksimum, debit rencana, banjir rancangan

Q_{smax} (T) = Debit rencana pada kala ulang tertentu

R = Korelasi

R² = Koefisien determinasi

\bar{R} = Hujan rerata maksimum tahunan
 R_i = Nilai hujan varian
 R_T = Tinggi hujan
 RUA = Luas relatif DAS sebelah hulu
 S = Kemiringan rerata sungai utama
 SF = Faktor sumber
 SIM = Faktor simetri
 SN = Frekuensi sumber
 T = Kala ulang
 TB = Waktu dasar sebagai parameter HSS Gamma I
 TMA = Tinggi muka air
 TR = Waktu naik sebagai parameter dalam HSS Gamma I
 U_{HSS} = Ordinat HSS Gamma I
 WF = Faktor lebar
 WL = Luas DAS pada jarak $(0,25 \times L)$ dari stasiun hidrometri
 WU = Lebar DAS pada jarak $(0,75 \times L)$ dari stasiun hidrometri
 x = Variabel bebas dalam suatu persamaan
 X_i = Nilai hujan varian
 \bar{X} = Nilai hujan rerata
 y = fungsi dalam suatu persamaan
 Y_i = Data tiap satu satuan
 \bar{Y} = Rerata data yang ditinjau
 z = *Cumulative probability of the standard normal distribution*
 Φ = Kehilangan hujan; indeks infiltrasi
 α = Faktor koreksi (weighing factor)
 σ = Deviasi standar

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Pemilihan Sebaran..... | 19 |
| Tabel 3.1 | Data Sekunder | 36 |
| Tabel 3.2 | Hujan Harian Rerata Maksimum Tahunan | 38 |
| Tabel 3.3 | Karakteristik DAS Code Terukur Di Pogung | 39 |
| Tabel 3.4 | Nilai TMA Sebagai Debit Rerata Tanpa Banjir | 40 |
| Tabel 3.5 | Hujan Efektif Terukur..... | 41 |
| Tabel 3.6 | Tinggi Hujan Terukur..... | 41 |
| Tabel 3.7 | Analisis Frekuensi Hujan Harian Rerata Maksimum..... | 42 |
| Tabel 3.8 | Sebaran Hujan Menurut Hasil Penelitian Sri Harto BR..... | 45 |
| Tabel 3.9 | Persamaan-Persamaan HSS Gamma I..... | 46 |
| Tabel 3.10 | Ordinat HSS Gamma I..... | 47 |
| Tabel 3.11 | Indeks Φ Terukur Tiap Data..... | 49 |
| Tabel 3.12 | Nilai Indeks Φ Atas Dasar Fungsi Tinggi Hujan | 51 |
| Tabel 3.13 | Banjir Rancangan Cara HSS Gamma I..... | 52 |
| Tabel 3.14 | Banjir Rancangan (Empiris) | 54 |
| Tabel 3.15 | Komparasi Indeks Φ | 54 |
| Tabel 3.16 | Komparasi Banjir Rancangan | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Siklus Hidrologi | 5 |
| Gambar 2.2 | Diagram Siklus Hidrologi | 7 |
| Gambar 2.3 | Alat Ukur Hujan Biasa | 9 |
| Gambar 2.4a | Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Sifon | 10 |
| Gambar 2.4b | Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Penampung Bergerak | 10 |
| Gambar 2.5 | Pengukuran Tinggi Curah Hujan Cara Rerata Hitung | 12 |
| Gambar 2.6 | Luas Daerah Pengaruh Cara Poligon Thiessen | 13 |
| Gambar 2.7 | Luas Daerah Pengaruh Cara Isohyet | 15 |
| Gambar 2.8 | Kurva Cv & Cs Untuk Perkiraan Jenis Sebaran Data | 19 |
| Gambar 2.9a | Prinsip Superposisi Dalam Hidrograf Satuan..... | 22 |
| Gambar 2.9b | Hubungan Linier Dalam Hidrograf Satuan | 22 |
| Gambar 2.10 | Unsur-Unsur HSS Gamma I | 23 |
| Gambar 2.11 | Sketsa Penentuan Indeks | 26 |
| Gambar 2.12 | Sketsa Papan Duga | 27 |
| Gambar 2.13a | AWLR Tipe Gelembung | 28 |
| Gambar 2.13b | AWLR Tipe Pengapung | 28 |
| Gambar 3.1 | <i>Flow Chart</i> Perhitungan Dalam Kegiatan Penelitian | 35 |
| Gambar 3.2 | Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I | 48 |
| Gambar 3.3 | Grafik Regresi Antara Indeks Φ vs Tinggi Hujan | 50 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel *Cumulative Probability Of The Standard Normal Distribution*
- Lampiran 2 Gambar Poligon Thiessen DAS Code Terukur Di Pogung
- Lampiran 3 Tabel Debit Sungai
- Lampiran 4 Sebaran hujan menurut Hasil Penelitian Sri Harto BR
- Lampiran 5 Tabel Analisis Banjir Rancangan Cara HSS Gamma I
- Lampiran 6 Tabel Analisis Banjir Rancangan (empiris)
- Lampiran 7 Gambar DAS Code Terukur Di Pogung



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil di bagian hulu sampai besar di bagian hilir. Air hujan yang jatuh di atas permukaan bumi dalam perjalanannya sebagian kecil menguap dan sebagian besar mengalir dalam bentuk alur-alur kecil, kemudian menjadi alur-alur sedang seterusnya mengumpul menjadi satu alur sungai utama, dengan demikian dapat dikatakan sungai berfungsi menampung curah hujan dan mengalirkannya ke laut.

Debit aliran yang terukur pada suatu titik tampang sungai terdiri dari 3 unsur, yaitu: limpasan permukaan (*surface run off*), aliran antara (*interflow/subsurface flow*) dan aliran air tanah (*ground water flow*). Setiap unsur debit aliran mempunyai sifat dan kecepatan tempuh sampai titik terukur yang berbeda-beda. Limpasan permukaan terukur pada sungai dalam ukuran detik sampai jam, aliran antara dengan waktu antara hari sampai minggu dan aliran air tanah terukur dalam waktu bulan sampai tahun. Limpasan permukaan dalam jumlah yang cukup banyak merupakan unsur penting dalam pembentukan banjir puncak. Limpasan permukaan mungkin agak kecil pengaruhnya terhadap pembentukan banjir puncak karena aliran permukaan di atas permukaan yang permeabel hanya dapat terjadi bila laju curah hujannya melampaui daya resap setempat. Oleh karena itu, limpasan permukaan umumnya merupakan faktor penting dalam aliran sungai hanya bila dihasilkan hujan lebat atau hujan berintensitas tinggi. Aliran antara bergerak lebih lambat dari limpasan permukaan untuk mencapai sungai. Meskipun jalannya lebih lambat dari limpasan permukaan, jumlah aliran antara sedikit berpengaruh, lebih-lebih hujan yang berintensitas sedang. Komponen pokok aliran air tanah adalah sebagian dari air hujan dapat berperkolasi ke bawah sungai mencapai muka air tanah.

Untuk memudahkan penjelasan, dalam analisis lazim dianggap bahwa aliran total hanya dibagi menjadi dua bagian, yaitu: aliran permukaan (*direct runoff*) dan aliran dasar (*base flow*). Perbedaan ini sesungguhnya lebih dititikberatkan berdasarkan waktu sampainya air hujan di sungai daripada berdasarkan jalan yang ditempuh. Aliran dasar terdiri dari aliran antara dan aliran air tanah, sedangkan aliran permukaan dianggap berasal dari limpasan permukaan. Aliran permukaan disebabkan oleh hujan efektif, yaitu hujan yang tidak sempat tertahan oleh tanaman, permukaan tanah, mengalir di permukaan tanah dan masuk ke sungai. Hujan yang tidak menjadi aliran permukaan disebut kehilangan hujan. Besarnya kehilangan hujan dinyatakan dengan indeks Φ . Komponen indeks Φ terdiri atas: (1) intersepsi dan tampungan sementara, (2) penguapan selama hujan dan (3) infiltrasi. Komponen indeks Φ yang bersifat penguapan tidak akan memberikan andil terhadap aliran terukur di sungai.

Model Indeks Φ yang didapatkan dalam penelitian Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I didasarkan pada karakteristik DAS (luas DAS dan frekuensi sumber), sedangkan pengaruh tinggi hujan terhadap besarnya indeks Φ tidak disampaikan. Untuk itu perlu ditelaah lebih mendalam hubungan indeks Φ dengan tinggi hujan dan nilai banjir rancangan akibat perubahan fungsi nilai indeks Φ tersebut.

1.2 POKOK PERMASALAHAN

Pokok permasalahan dalam penelitian adalah:

1. Model empiris Indeks Φ yang didapatkan dalam penelitian HSS Gamma I lebih kepada perkiraan awal, sehingga untuk mendapatkan hasil perancangan debit sungai yang lebih akurat lagi dapat dilakukan pada luasan yang terbatas dalam bentuk *regionalism* untuk mengurangi ketidakseragaman sifat sebaran hujan menurut tempat (*spatial distribution*) akibat daerah dengan luasan besar.
2. Model indeks Φ yang didapatkan dalam penelitian HSS Gamma I memuat 2 variabel yang dianggap signifikan yaitu: A (luas DAS) dan SN (frekuensi sumber), sedangkan pengaruh tinggi hujan terhadap nilai indeks Φ tidak disampaikan.

1.3 RUMUSAN MASALAH

Dari penjelasan latar belakang dan pokok permasalahan di atas, maka rumusan masalah dari penelitian adalah "Bagaimana hubungan indeks Φ dengan tinggi hujan serta nilai banjir rancangan akibat perubahan fungsi nilai indeks Φ tersebut".

1.4 TUJUAN

Adapun tujuan penelitian adalah mendapatkan persamaan indeks Φ yang dipengaruhi oleh tinggi hujan (R_T) serta implikasinya untuk beberapa nilai banjir rancangan pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun antara persamaan indeks Φ menurut hasil penelitian HSS Gamma I dengan persamaan indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan.

1.5 MANFAAT

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam menentukan variabel yang berpengaruh terhadap nilai indeks Φ dalam analisis banjir rancangan.
2. Sebagai literatur dalam penelitian formulasi indeks Φ dengan batasan masalah yang lebih luas dan kompleks untuk mendapatkan persamaan indeks Φ dengan keakuratan yang lebih tinggi.

1.6 BATASAN MASALAH

Dengan beberapa pertimbangan terhadap ketersediaan data dan tujuan dalam penelitian, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Daerah Aliran Sungai yang digunakan dalam penelitian adalah Daerah Aliran Sungai Code di Daerah Istimewa Yogyakarta yang terukur di Pogung.
2. Data hujan dan aliran sungai merupakan data sekunder yang diperoleh dari Balai PSDA Wilayah Sungai Progo-Opak-Oyo (POO) Yogyakarta.

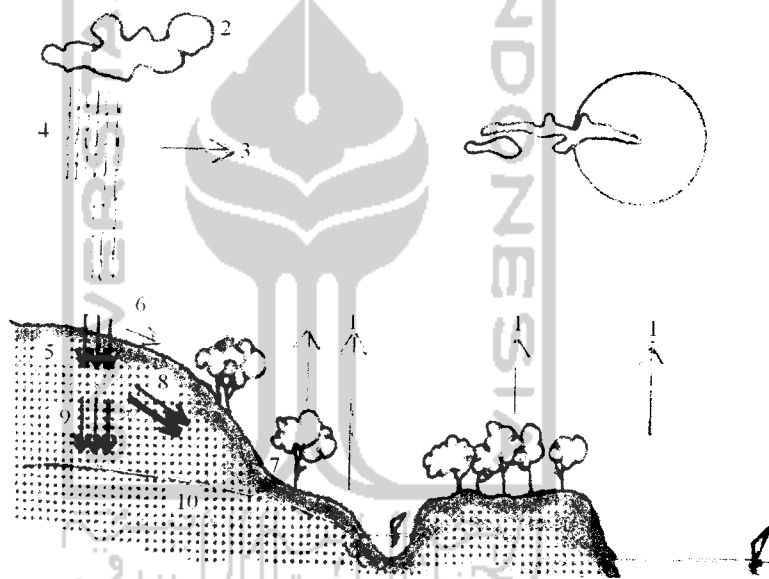
3. Data hujan yang digunakan dalam perhitungan hujan rancangan adalah data hujan rerata harian dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2005.
4. Hujan rancangan dihitung untuk setiap kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun.
5. Variabel yang digunakan dalam menentukan persamaan HSS Gamma I adalah atas dasar tinggi hujan.
6. Hidrograf satuan yang dipergunakan dalam analisis adalah Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SIKLUS HIDROLOGI

Siklus hidrologi merupakan konsep dasar tentang keseimbangan air secara global dan juga menunjukkan semua hal yang berhubungan dengan air. Sri Harto BR (1993), menjelaskan bahwa siklus hidrologi dapat dimulai darimana saja, akan tetapi untuk kemudahan biasanya dimulai dari penguapan. Skema siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Keterangan:

1. penguapan (*evaporation, transpiration, evapotranspiration*),
2. awan hujan (*rain cloud*),
3. penguapan kembali,
4. hujan (*precipitation, rainfall*),
5. infiltrasi (*infiltration*),
6. aliran limpasan (*overland flow*),

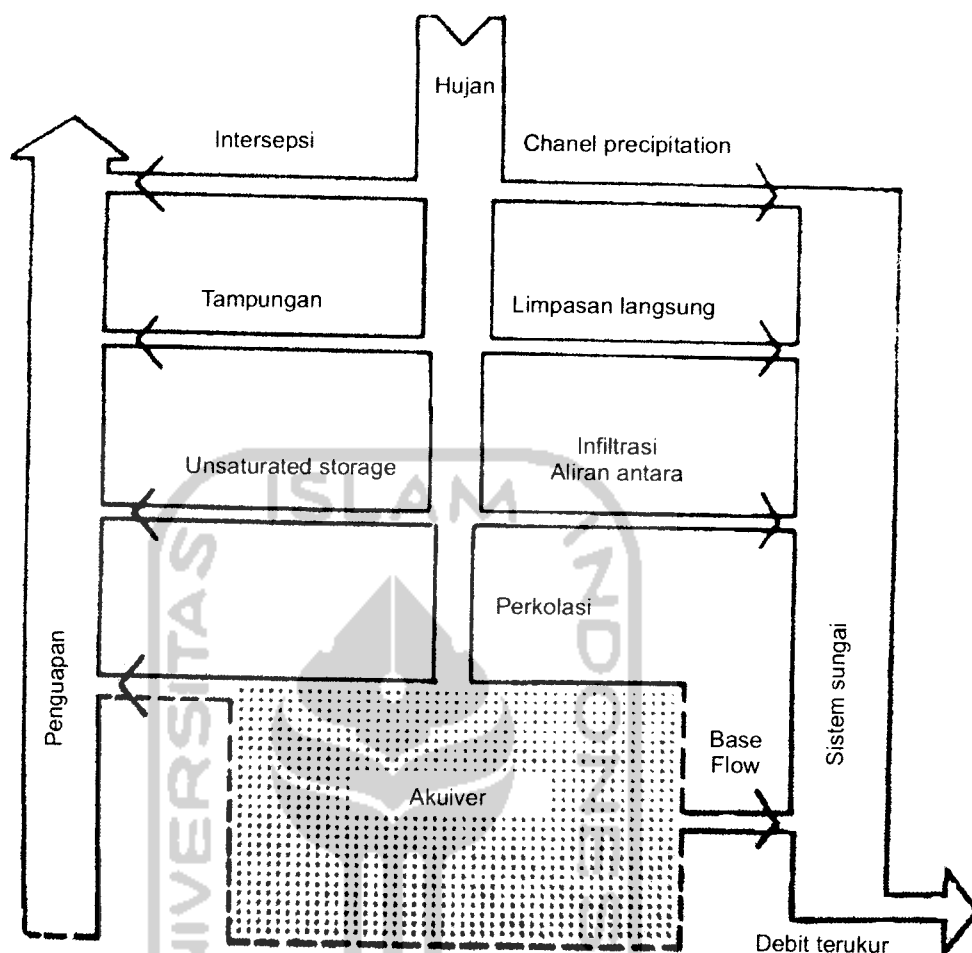
7. aliran permukaan (*surface run-off*)
8. aliran antara (*subsurface flow, interflow*),
9. perkolasi (*percolation*),
10. aliran air tanah (*groundwater flow*).

Matahari merupakan sumber tenaga bagi alam. Akibat panas yang bersumber dari matahari, maka terjadi penguapan (evaporasi), baik dari permukaan air laut, air sungai maupun penguapan dari permukaan tanaman (transpirasi) dan dari permukaan tanah. Uap air pada ketinggian tertentu akan berubah menjadi awan yang kemudian dengan beberapa penyebab akan dirubah menjadi awan penyebab hujan. Apabila kondisi alam memungkinkan, akan terjadi presipitasi yang dapat berupa salju atau hujan. Sebagian kecil air akibat presipitasi akan diuapkan kembali sebelum sampai ke tanah dan yang selebihnya merupakan hujan. Air yang jatuh di permukaan tanah, sebagian akan mengalir sebagai *overland flow* yang kemudian menjadi *surface runoff*, sedang yang lain akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi).

Apabila kondisi tanah memungkinkan, sebagian air infiltrasi akan mengalir horizontal sebagai *interflow*, sebagian akan tinggal dalam massa tanah sebagai *moisture content* dan sisanya mengalir vertikal (perkolasi) yang akan mencapai air tanah. Air yang tidak meresap atau menguap tiba kembali di laut lewat alur sungai. Air tanah bergerak lebih perlahan, mungkin muncul kembali ke dalam alur air atau sungai di dekat garis pantai dan merembas ke dalam laut, dan seluruh daur merupakan satu siklus yang menerus dan tidak terputus meskipun tidak mengikuti siklus yang lengkap. Memperhatikan uraian tersebut, sebenarnya aliran air yang terukur di sungai terdiri dari empat unsur penting, yaitu:

1. air yang berasal langsung dari air hujan (*channel rainfall*)
2. limpasan permukaan,
3. aliran antara, dan
4. aliran air tanah.

Siklus hidrologi yang disajikan dalam Gambar 2.1 dapat lebih jelas secara diagramatik seperti terlihat dalam Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Siklus Hidrologi (Sri Harto Br, 1993)

Masing-masing komponen dalam proses pengalihragaman hujan menjadi debit dalam diagram tersebut dapat diperlakukan dengan berbagai cara. Setiap unsur dapat dilihat secara terpisah sebagai suatu keluaran dari satu subsistem DAS tersebut, yang tidak lain merupakan karakter tanggapan (*response*) subsistem DAS tersebut terhadap suatu masukan tertentu.

2.2 HUJAN

Sebagai akibat terjadinya penguapan, maka akan terbentuk awan penyebab hujan. Hujan baru akan terjadi apabila berat butir-butir air hujan (di awan) lebih besar dari gaya tekan udara ke atas. Air hujan sebelum mencapai permukaan tanah sebagian akan menguap kembali menjadi awan. Air hujan yang sampai ke

permukaan tanah yang disebut hujan (Sri Harto, 1993). Air hujan yang sampai ke permukaan tanah yang dapat diukur. Jumlah hujan selalu dinyatakan dengan dalamnya hujan (mm).

Menurut kejadiannya, hujan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu hujan konvektif, hujan siklon dan hujan orografik.

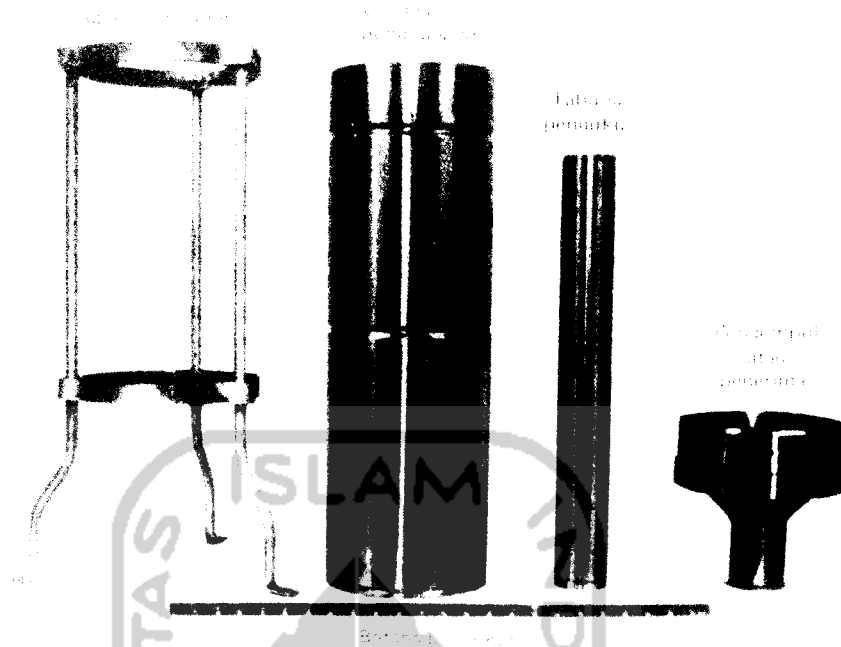
1. Hujan konvektif akan terjadi bila terdapat ketidakseimbangan udara karena panas setempat sehingga udara bergerak ke atas dan berlaku proses adiabatik. Hujan jenis ini biasanya merupakan hujan dengan intensitas tinggi, di daerah yang relatif sempit dan terjadi dalam waktu singkat.
2. Hujan siklon akan terjadi bila udara bergerak ke atas akibat adanya udara panas yang bergerak di atas lapisan udara yang lebih padat dan lebih dingin. Hujan siklon biasanya berintensitas sedang, mencakup daerah yang luas dan berlangsung lama.
3. Hujan orografik terjadi karena udara bergerak ke atas akibat adanya pegunungan. Akibatnya terjadi dua daerah yang disebut daerah hujan dan daerah bayangan hujan. Sifat hujan orografik dipengaruhi oleh karakteristik pegunungan yang bersangkutan.

2.2.1 Pengukuran Hujan

Untuk melakukan pengukuran hujan, diperlukan alat ukur hujan (*rain gauge*). Dalam pemakaiannya terdapat dua jenis alat ukur hujan, yaitu:

1. Alat ukur hujan biasa (*Manual Rain gauge*)

Alat ukur curah hujan biasa berbentuk tabung dengan diameter 8", di dalamnya terdapat sebuah tabung pengukur berdiameter 1,5" (lihat Gambar 2.3). Air hujan lewat melalui pengumpul dan masuk ke dalam suatu tabung-ukur silindris di dalam kaleng pelimpah (*overflow can*). Tabung ukur tersebut mempunyai luas penampang sebesar 1/10 luas penampang pengumpul, sehingga curah hujan setinggi 0,1 inchi hujan akan mengisi tabung setinggi 1 inchi. Dengan menggunakan suatu tongkat ukur yang bertanda sepersepuluh inchi, curah hujan bisa diukur sampai 0,01 inchi (0,25 mm).

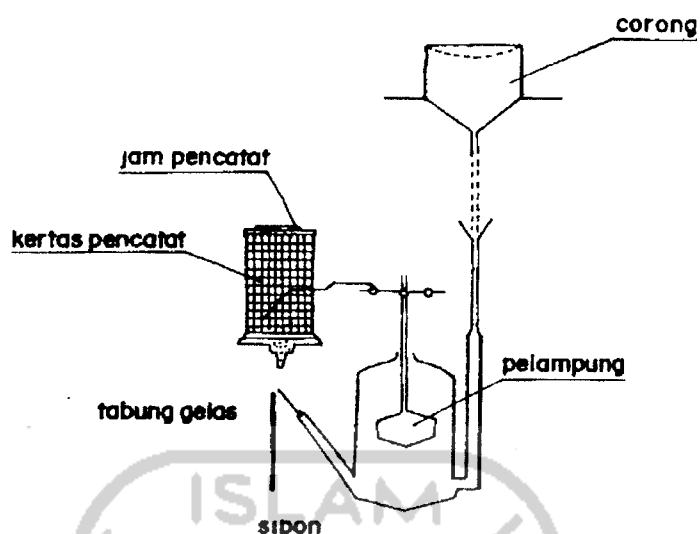


Gambar 2.3 Alat Ukur Hujan Biasa

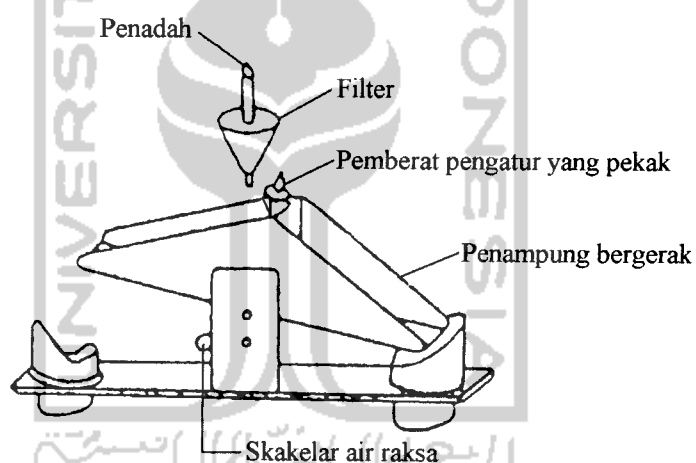
Alat ukur hujan biasa ditempatkan di tempat terbuka yang tidak dipengaruhi oleh pohon-pohon dan gedung-gedung. Ketelitian pembacaan adalah sampai 1/10 mm. Pembacaan harus dilakukan satu kali sehari, biasanya pada pukul 09.00 dan hasil pembacaan dicatat sebagai curah hujan terdahulu (kemarin). Curah hujan yang kurang dari 0,1 mm harus dicatat 0,00 mm. Apabila keadaan tidak ada hujan, dicatat dengan membubuhkan garis (-). Kekurangan dari alat ini tidak dapat mencatat saat mulai dan berakhirnya hujan, sehingga tidak dapat mengetahui lama waktu hujan dan intensitasnya. Biasanya pengukuran hujan dilakukan selama 24 jam (harian). Namun untuk kepentingan tertentu sering juga pengukuran dilakukan berdasarkan periode jam-jaman (Sri Harto, 1993).

2. Alat ukur hujan otomatis (*Automatic Raingauge*)

Alat ukur hujan otomatis dibagi menjadi dua, yaitu jenis sifon dan jenis penampung bergerak. Sketsa kedua alat ukur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4a 2.4b di bawah ini.



Gambar 2.4a Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Sifon



Gambar 2.4b Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Penampung Bergerak

Pada jenis sifon, air hujan tertampung di dalam sebuah silinder berpelampung yang dapat terangkat oleh air hujan yang masuk. Hujan dicatat pada suatu sistem pencatatan dengan sebuah pena yang digerakkan oleh pelampung tersebut. Lebar kertas pencatat sesuai dengan hujan 10 mm. Jika pena pencatat mencapai batas atas 10 mm (berarti pelampung dalam silinder itu naik 10 mm), maka air hujan di dalam silinder akan terbuang melalui sifon dan pena akan turun ke bawah sampai ke titik 0 mm. Skala yang digunakan pada kertas pencatat adalah 1cm : 10 mm.

Pada alat ukur jenis penampung bergerak, penampung terdiri dari dua bagian yang sama, yang dapat bergerak atau berputar pada sumbu horisontal yang terpasang di tengah-tengah. Air hujan yang masuk ditampung oleh salah satu penampung. Jika air hujan di dalam penampung itu mencapai jumlah tertentu, maka penampung itu bergerak sehingga air hujan berikutnya ditampung oleh penampung yang lain. Jika hujan berlangsung terus, maka penampung-penampung tersebut akan berganti-ganti menampung air hujan yang masuk. Pena pencatat yang dapat digerakkan oleh listrik melalui kabel akan mencatat setiap kali terjadi perputaran penampung. Dengan alat ukur hujan otomatis, maka kejadian dan intensitas hujan dicatat otomatis pada gulungan kertas yang berputar, sehingga dapat diketahui saat permulaan dan saat akhir hujan serta besarnya hujan tiap saat.

2.2.2 Hujan Rerata

Pengukuran yang diperoleh dari masing-masing pengukur hujan adalah data yang merupakan data hujan titik (*point rainfall*), sedangkan untuk keperluan analisis, yang diperlukan adalah data hujan daerah (*areal rainfall/catchment rainfall*). Untuk mendapatkan gambaran mengenai penyebaran hujan di suatu wilayah pengamatan, maka dipasang alat ukur hujan di berbagai tempat yang tersebar merata di seluruh daerah pengamatan. Untuk dapat mewakili daerah yang luas, maka data hujan tersebut harus dirubah menjadi hujan rerata kawasan. Besarnya hujan dan durasi turunnya hujan di setiap tempat pengukuran berubah-ubah. Dengan demikian sukar untuk mengetahui besarnya banjir yang disebabkan oleh hujan itu.

Salah satu cara pendekatan ialah dengan mengambil hujan rerata di daerah tersebut untuk suatu periode tertentu (1 hari, 1 bulan atau 1 tahun). Pada prinsipnya ada tiga cara yang banyak digunakan untuk memperhitungkan hujan rerata (*areal rainfall*) dari hujan titik (*point rainfall*), yaitu:

1. cara "Rerata Hitung",
2. cara "Poligon Thiessen",
3. cara "Isohyet".

Metode Rerata Hitung diperoleh dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran yang dipilih selama periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumaskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:

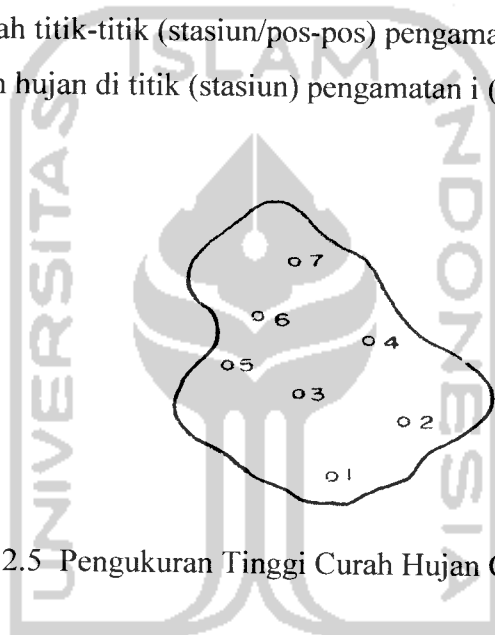
$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan

\bar{P} = curah hujan rerata (mm)

n = jumlah titik-titik (stasiun/pos-pos) pengamatan

P_i = curah hujan di titik (stasiun) pengamatan i (mm)



Gambar 2.5 Pengukuran Tinggi Curah Hujan Cara Rerata Hitung

Cara Poligon Thiessen memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor koreksi (*weighting factor*) dalam menghitung hujan rerata. Metode Poligon Thiessen menganggap bahwa data curah hujan suatu tempat pengamatan dapat dipakai untuk suatu luasan daerah pengaruh. Maka curah hujan rerata bagi seluruh daerahnya adalah jumlah dari perkalian hasil pengamatan tiap tempat pengukuran dengan persentase luasnya. Jika dinyatakan dalam bentuk persamaan adalah sebagai berikut:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\alpha_i = \frac{A_i}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan

\bar{P} = curah hujan rerata (mm)

P_i = curah hujan di titik (stasiun) pengamatan i (mm)

A_i = luas daerah pengaruh di titik (stasiun) pengamatan i (km)

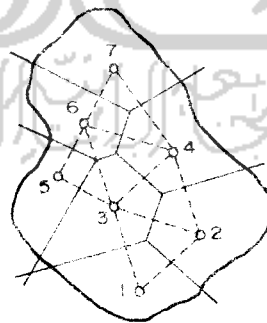
A = luas daerah keseluruhan (km)

n = jumlah titik-titik (stasiun/pos-pos) pengamatan

α_i = faktor koreksi (*weighting factor*)

Hitungan dengan Poligon Thiessen dilakukan seperti sketsa pada Gambar 2.6. Luas masing-masing daerah di tiap titik (stasiun) pengamatan diperoleh dengan cara sebagai berikut:

- Dibuat garis penghubung antar stasiun yang berdekatan jaraknya, baik stasiun yang terdapat di dalam maupun di luar DAS.
- Dibuat garis berat yang letaknya tegak lurus membagi dua sama panjang pada garis penghubung.
- Dibuat garis bantu untuk mendapatkan polygon yang mewakili untuk setiap stasiun.
- Mengukur luas setiap polygon yang diwakili.



Gambar 2.6 Luas Daerah Pengaruh Cara Poligon Thiessen

Cara Poligon Thiessen dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang (dianggap) diwakili. Kekurangan cara Poligon Thiessen diantaranya adalah pengaruh intensitas tidak

tampak serta apabila ada salah satu stasiun yang tidak berfungsi (rusak atau data tidak benar), maka poligon harus dirubah.

Isohyet merupakan garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama pada saat yang bersamaan. Cara Isohyet diyakini paling teliti, namun kesulitan terletak pada setiap kali harus menggambarkan garis isohyet. Pembagian daerahnya dapat dilihat dalam sketsa pada Gambar 2.7. Pada cara Isohyet pengaruh nilai kontur hujan telah dimasukkan. Curah hujan rerata bagi daerah seluruhnya didapatkan dengan mengalikan curah hujan rerata di antara kontur-kontur dengan luas daerah antara kedua kontur, dijumlahkan dan kemudian dibagi luas seluruh daerah. Jika dirumaskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:sesuai persamaan:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_{(i,i+1)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\alpha_i = \frac{A_{i-(i+1)}}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$P_{(i,i+1)} = \frac{P_i + P_{(i+1)}}{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan

\bar{P} = curah hujan rerata (mm)

α_i = factor koreksi (*weighting factor*)

$A_{i-(i+1)}$ = luas antar Isohyet i dengan (i+1) (km)

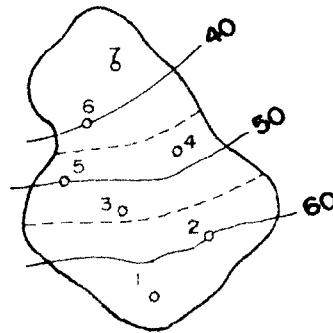
P_i = curah hujan di titik (stasiun) pengamatan i (mm)

$P_{(i+1)}$ = curah hujan di titik (stasiun) pengamatan (i+1) (mm)

$P_{(i,i+1)}$ = curah hujan rerata antar titik pengamatan i dengan (i+1) (mm)

A_{total} = luas daerah keseluruhan (km)

n = jumlah titik-titik (stasiun/pos-pos) pengamatan



Gambar. 2.7 Luas Daerah Pengaruh Cara Isohyet

2.2.3 Hujan Rancangan

Hujan rancangan adalah nilai hujan yang dipergunakan sebagai dasar masukan dalam analisis banjir rancangan. Dalam hal data hujan yang tersedia adalah hujan harian, maka hujan rancangan adalah hujan harian maksimum tahunan dengan kala ulang (*return period*) T tahun. Analisis hujan rancangan dilakukan setelah diketahui nilai faktor frekuensi berdasarkan jenis sebaran serta kala ulang yang digunakan. Hujan rancangan dapat dihitung sesuai dengan persamaan:

$$R_T = \bar{R} + k_T \cdot \sigma \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan

- R_T = hujan rancangan dengan kala ulang T tahun (mm)
- \bar{R} = rerata hitung dari data hujan (mm)
- k_T = faktor frekuensi untuk kala ulang T tahun
- σ = deviasi standar (mm)

Analisis frekuensi adalah analisis berulangnya satu peristiwa, baik jumlah frekuensi persatuan waktu maupun periode ulangnya. Tujuan dalam analisis frekuensi adalah untuk memperkirakan besaran tinggi hujan dengan kala ulang tertentu dari hujan terukur dengan menggunakan cara statistik. Kala ulang (*return period*) didefinisikan sebagai waktu hipotetis dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut, jadi kejadian tersebut tidak berulang secara teratur setiap kala ulang.

Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan dalam satu rangkaian pengamatan yang relatif panjang, makin panjang data tersedia semakin kecil penyimpangan hasil yang diperoleh dan semakin pendek data yang tersedia semakin besar penyimpangan yang terjadi. Di bawah ini, diuraikan persamaan-persamaan yang digunakan dalam analisis frekuensi untuk mendapatkan nilai hujan rancangan.

1. Parameter Statistik

Parameter statistik digunakan untuk menentukan metode distribusi yang sesuai dalam analisis frekuensi. Sebagai analisis awal untuk memilih distribusi frekuensi yang cocok dengan seri data hujan, terlebih dahulu dihitung nilai parameter-parameter dasar statistiknya, yaitu hujan rerata, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemencengan/asimetri (*skewness*) dan koefisien kurtosis. Nilai parameter statistik data hujan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

a. Hujan rerata (\bar{R})

Hujan rerata adalah nilai rerata penyimpangan mutlak dari rerata hitung untuk semua nilai varian sesuai persamaan:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan

\bar{R} = rerata hitung dari data hujan (mm)

n = jumlah data

R_i = nilai hujan varian (mm)

b. Deviasi standar (σ)

Deviasi standar adalah nilai penyebaran data terhadap nilai rerata dari data tersebut. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rerata maka nilai deviasi standar (σ) akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rerata maka nilai deviasi standar (σ) akan kecil.

Deviasi standar dapat dihitung sesuai persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan

\bar{R} = rerata hitung dari data hujan (mm)

n = jumlah data

R_i = nilai hujan varian (mm)

σ = deviasi standar (mm)

c. Koefisien variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rerata hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung sesuai persamaan:

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{R}} \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan

Cv = koefisien variasi

σ = deviasi standar (mm)

\bar{R} = rerata hitung dari data hujan (mm)

d. Koefisien kemencengan/*skewness* (Cs)

Kemencengan adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*asymmetry*) dari suatu bentuk distribusi. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri atau menceng. Umumnya ukuran kemencengan (*coeficient of skewness*) dapat dihitung sesuai persamaan:

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Cs = \frac{a}{\sigma^3} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan

a = parameter kemencengan

Cs = koefisien kemencengan

- \bar{R} = rerata hitung dari data (mm)
- n = jumlah data
- Ri = nilai hujan varian (mm)
- σ = deviasi standar (mm)

e. Koefisien kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi Koefisien kurtosis dapat dihitung sesuai persamaan:

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)\sigma^4} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan

- Ck = koefisien kurtosis
- \bar{R} = rerata hitung dari data (mm)
- n = jumlah data
- Ri = nilai hujan varian (mm)
- σ = deviasi standar (mm)

2. Jenis Sebaran

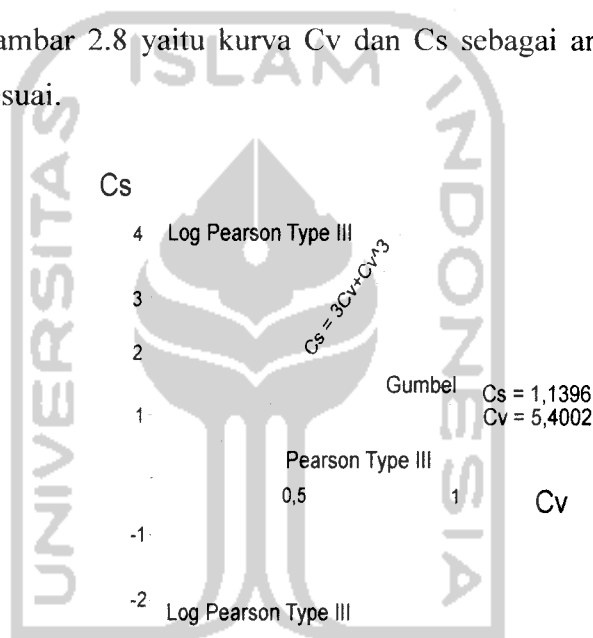
Setelah parameter statistik diketahui maka dapat ditentukan jenis sebaran yang cocok untuk digunakan dalam analisis frekuensi. Dalam memanfaatkan berbagai teknik analisis frekuensi (*frequency analysis*) dalam pengolahan data hidrologi, beberapa jenis sebaran yang banyak digunakan adalah: distribusi normal, log-Normal 2 Parameter, Pearson Tipe III, Log Pearson Tipe III dan Gumbell. Sebagai arahan untuk memilih jenis sebaran yang sesuai, diberikan syarat dalam pemilihan sebaran pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Pemilihan Sebaran

| Sebaran | Syarat |
|------------------------|---|
| Normal | $C_s = 0$ dengan $C_k = 3 \cdot \sigma^2$ |
| Gumbel | $C_s = 1,1396$; $C_k = 5,4002$ |
| Log Normal 2 Parameter | $C_s \approx 3 \cdot C_v$ |
| Pearson Tipe III | Yang tidak termasuk sebaran di atas |

Sumber : Shanin, 1976

Pada Gambar 2.8 yaitu kurva C_v dan C_s sebagai arahan untuk memilih sebaran yang sesuai.



Gambar 2.8 Kurva C_v dan C_s Untuk Perkiraan Jenis Sebaran Data

3. Faktor frekuensi

Setelah diketahui jenis sebaran data, maka nilai faktor frekuensi (k_T) ditetapkan dengan melihat tabel untuk jenis sebaran tersebut, atau dihitung berdasarkan persamaan faktor frekuensi untuk jenis sebaran tertentu. Berikut persamaan untuk menghitung faktor frekuensi (k_T), sesuai dengan jenis sebarannya.

a. Sebaran Normal

Sebaran normal banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misal dalam analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dan debit rerata tahunan.

Persamaan faktor frekuensi (k_T) sesuai dengan jenis sebaran normal adalah sebagai berikut:

$$k_T = z \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan

k_T = faktor frekuensi

z = Standar normal distribusi (tabel *Cumulative Probability Of The Standard Normal Distribution* pada Lampiran 1)

b. Sebaran Log Normal 2 Parameter

Persamaan faktor frekuensi (k_T) sesuai dengan jenis sebaran Log-Normal 2 Parameter adalah sebagai berikut:

$$k_T = \frac{\left[e^{\left\{ \sqrt{\ln(1+Cv^2)} z - 0,5\ln(1+Cv^2) \right\}} - 1 \right]}{Cv} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan

Cv = koefisien variasi

c. Sebaran Pearson Tipe III

Banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum). Persamaan faktor frekuensi (k_T) sesuai dengan jenis sebaran Pearson Tipe III adalah sebagai berikut:

$$k_T = z + (z^2-1)k + \frac{1}{3} (z^3-6z)k^2 - (z^2-1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3} k^5 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$k = \frac{Cs}{6} \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan

k = Koefisien kemencengan dari logaritma data

Cs = Koefisien kemencengan

d. Sebaran Extreme Value Type I (Gumbel)

Umumnya digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Mempunyai koefisien Kemencengan $C_s = 1,1396$ dengan $C_k = 5,4002$. Peluang kumulatif dari distribusi ekstrem tipe I adalah:

$$k_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan

$$T = \text{Kala ulang tahun (return Periods)}$$

Nilai z tergantung dari besarnya kala ulang (T). z dibaca dari tabel *Cumulative Probability Of The Standard Normal Distribution* dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.3 HIDROGRAF SATUAN SINTETIK GAMMA I

Hidrograf satuan didefinisikan sebagai sebuah hidrograf dari limpasan langsung (*direct runoff*) dalam satu satuan kedalaman hujan efektif dengan satu satuan durasi tertentu yang jatuh pada suatu DAS. Dalam suatu sistem DAS terdapat satu sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu. Tanggapan ini diandaikan tetap untuk masukan dengan besaran dan penyebaran tertentu. Tanggapan yang demikian dalam model konsep hidrologi dikenal dengan hidrograf satuan (*unit hydrograph*). Konsep hidrograf satuan merupakan pendekatan mendasar yang dapat digunakan untuk mentransformasi hujan menjadi aliran atau dengan kata lain hidrograf aliran dapat diturunkan dari hidrograf satuan.

Berdasarkan ketersediaan data, hidrograf satuan dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu hidrograf satuan analitik dan hidrograf satuan sintesis. Hidrograf satuan analitik dalam analisisnya didasarkan pada data hujan dan debit dengan kejadian yang sama. Perhitungan hidrograf satuan analitik dapat diselesaikan dengan menggunakan metode hitungan persamaan konvolusi dan cara Collins. Rumus dasar hidrograf satuan adalah sebagai berikut:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq m} P_m U_{n-m+1} \dots \dots \dots (2.18)$$

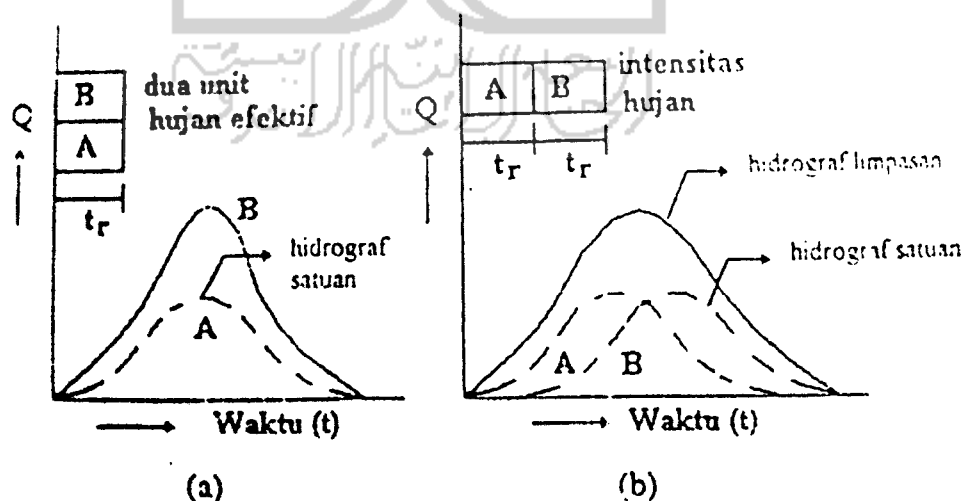
dengan

Q_n = limpasan langsung/aliran permukaan, dalam m^3/s

P_m = hujan efektif, dalam mm

U_{n-m+1} = Ordinat hidrograf satuan, dalam m^3/s

Hidrograf satuan sintetik menggunakan pendekatan empiris, dikarenakan tidak adanya data hujan dan debit terukur yang sinkronis. Beberapa rumus empiris untuk analisis hidrograf satuan sintetik adalah Snyder, Nakayasu, SCS, HSS Gama I (Sri Harto, 1993). Untuk mendapatkan suatu banjir rencana dari hujan dapat dipakai cara dengan mentransformasikan hyetograph hujan menjadi hidrograf aliran sungai. Jika tingkatan pengalirannya meningkat, kecepatan air di permukaan tanah dan di sungai meningkat dan puncak hidrograf menjadi lebih tajam. Sebaliknya hambatan pengaliran air dipermukaan tanah juga meningkat dan mempunyai efek pengurangan pada hidrograf. Hidrograf melukiskan suatu distribusi waktu dari pengaliran di tempat pengamatan dan menentukan kekomplekan karakteristik dari alirannya dengan suatu lengkung tunggal.



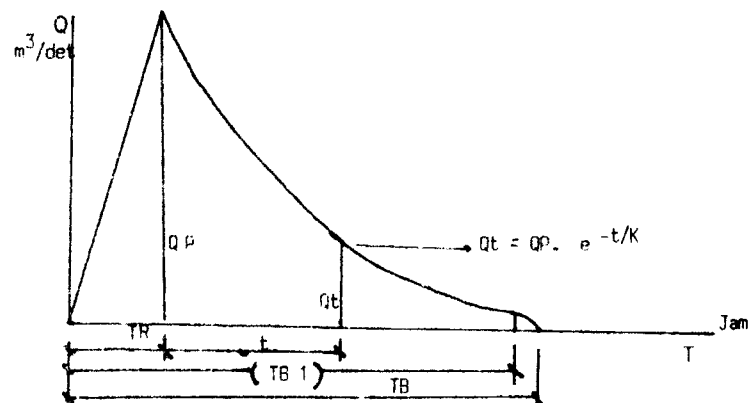
Sumber: Tim penyusun buku Rekayasa Hidrologi (1997)

Gambar 2.9 Prinsip Superposisi & Hubungan Linier Dalam Hidrograf Satuan

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dikembangkan di Indonesia dari 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto (1985). Pengembangan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dilakukan dengan memanfaatkan parameter-parameter lain selain yang sudah dilakukan sebelumnya yang ternyata parameter tersebut sangat menentukan pengalihan hujan menjadi banjir. Parameter yang dimaksud adalah penetapan tingkat sungai dalam suatu DAS (Strahler, 1964). Strahler menetapkan tingkat sungai sebagai berikut:

- Sungai-sungai paling ujung adalah sungai tingkat satu.
- Jika dua sungai dengan tingkat yang sama bertemu akan terbentuk sungai satu tingkat lebih tinggi di atasnya.
- Jika satu sungai bertemu dengan sungai lain dengan tingkat yang lebih rendah maka tingkat sungai pertama tidak berubah.

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I terdiri atas 4 parameter pokok, yaitu waktu naik (T_R), debit puncak (Q_p), waktu dasar (T_B) dan koefisien tumpangan (K). Selain parameter tersebut di atas, ada beberapa parameter lain yang sangat menentukan proses pembentukan hidrograf, yaitu: faktor-sumber (SF), frekuensi-sumber (SN), faktor-lebar (WF) luas DAS sebelah hulu (RUA), faktor-simetri (SIM) dan jumlah pertemuan sungai (JN). Komponen Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dan variabel lain sebagai dasar analisis untuk menurunkan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I menurut serangkaian persamaan dalam Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Unsur-Unsur HSS Gama I

dimana

$$Q_t = Q_p e^{-t/K} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$TR = 0,43(L/100SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \dots\dots\dots(2.20)$$

$$Q_p = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$TB = 27,4132TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6895 \cdot 10^{-13} (A/SN)^4 \dots\dots\dots(2.24)$$

$$QB = 0,4751A^{0,6444} D^{0,9430} \dots\dots\dots(2.25)$$

dengan

Q_t = debit pada sisi resesi, dalam m^3 /detik

Q_p = debit puncak, dalam m^3 /detik

t = waktu hidrograf, dalam jam

K = koefisien tampungan

TR = waktu naik hidrograf, dalam jam

TB = waktu dasar hidrograf, dalam jam

Φ = indeks infiltrasi

QB = aliran dasar, dalam m^3 /detik

L = panjang sungai utama, dalam meter

SF = perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat

SN = perbandingan antara jumlah sungai tingkat satu dengan jumlah sungai semua tingkat

WF = perbandingan antara lebar DAS yang diukur pada titik di sungai yang berjarak $0,75L$ dengan lebar DAS yang diukur pada jarak $0,25L$ dari stasiun hidrometri

RUA = perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut.

- SIM = hasil kali antara WF dan RUA
 JN = jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS (jumlah ini merupakan jumlah sungai tingkat satu dikurangi satu)
 D = jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan DAS

2.4 KEHILANGAN HUJAN (INDEKS Φ)

Hujan yang tidak menjadi aliran permukaan disebut kehilangan hujan. Besarnya kehilangan hujan dinyatakan dengan indeks Φ . Apabila hidrograf limpasan dapat dipisahkan dari aliran dasar, maka perbedaan antara hujan dan limpasan merupakan jumlah kehilangan (*Basin recharge*), yaitu tampungan sementara, infiltrasi, intersepsi serta adanya proses penguapan. Apabila basin recharge dibagi dengan lamanya hujan akan diperoleh indeks. Prosedur yang dapat ditempuh untuk mendapatkan besar kehilangan hujan dari hidrograf aliran adalah sebagai berikut:

1. Pisahkan aliran dasar dari suatu hidrograf yang dipilih, dan volume (direct run off); dapat dihitung (V).
2. Dengan cara-cara akan dapat ditemukan indeks Φ yang memenuhi syarat

$$\text{Indeks } \Phi = \frac{P_{\text{tot}} - P_{\text{net}}}{t} \dots\dots\dots (2.26)$$

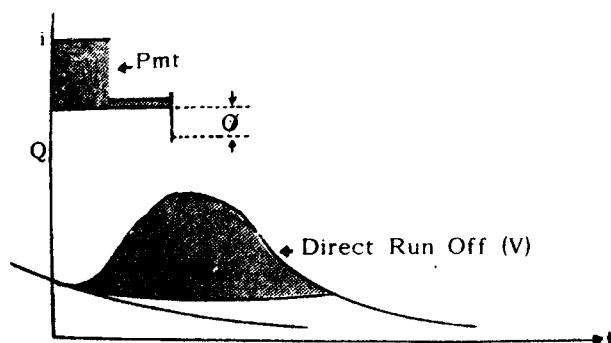
dengan

P_{tot} = jumlah hujan keseluruhan

P_{net} = jumlah hujan yang menyebabkan limpasan langsung (*direct run off*); $P_{\text{net}} = V$

t = waktu

Gambar 2.11 akan menjelaskan uraian yang disebutkan di atas.



Gambar 2.11 Skema Penentuan Indeks (Sri Harto BR; 1991)

2.5 HIDROMETRI

Aliran sungai adalah jumlah air (isi) pada tampang sungai per satuan waktu tertentu. Aliran sungai merupakan salah satu bagian dari fase siklus air dan merupakan data dasar dalam studi hidrologi yang dapat diukur lebih mudah dan akurat. Biasanya aliran sungai ini disebut debit sungai dengan satuan yang lazim adalah m^3/detik .

2.5.1 Pengukuran Debit Sungai

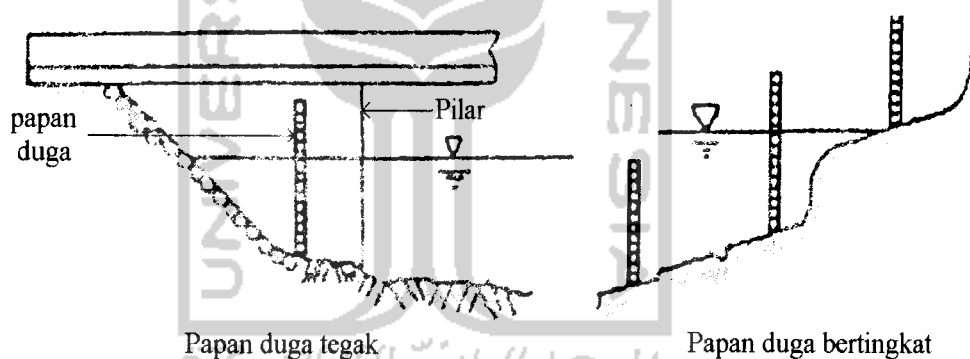
Teknik pengukuran debit sungai secara garis besarnya dapat dibagi menjadi dua bagian, yakni pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung. Pengukuran debit dapat dilakukan pada waktu-waktu tertentu dan semakin banyak pengukuran yang dilakukan maka makin teliti pula analisa datanya. Untuk dapat menetapkan debit sungai secara menerus membutuhkan waktu dan dana yang besar. Untuk keperluan jangka panjang pengukuran yang dilaksanakan secara menerus adalah tinggi muka air karena terdapat hubungan antara tinggi muka air dan debit. Pengukuran debit dilaksanakan pada interval waktu tertentu sebagai kalibrasi dari bacaan ketinggian muka air.

2.5.2 Alat Ukur Tinggi Muka Air

Tinggi muka air adalah elevasi permukaan aliran terhadap bidang referensi tertentu. Bidang referensi dimaksud dapat berupa tinggi titik setempat (titik dasar yang ditetapkan dalam perancangan bangunan air atau dasar sungai) atau tinggi muka air laut rata-rata (MSL). Berdasarkan sistim kerja alat ukur yang digunakan, ada dua jenis pengukuran tinggi muka air yaitu sistem manual dan otomatis.

1. Alat Ukur Manual

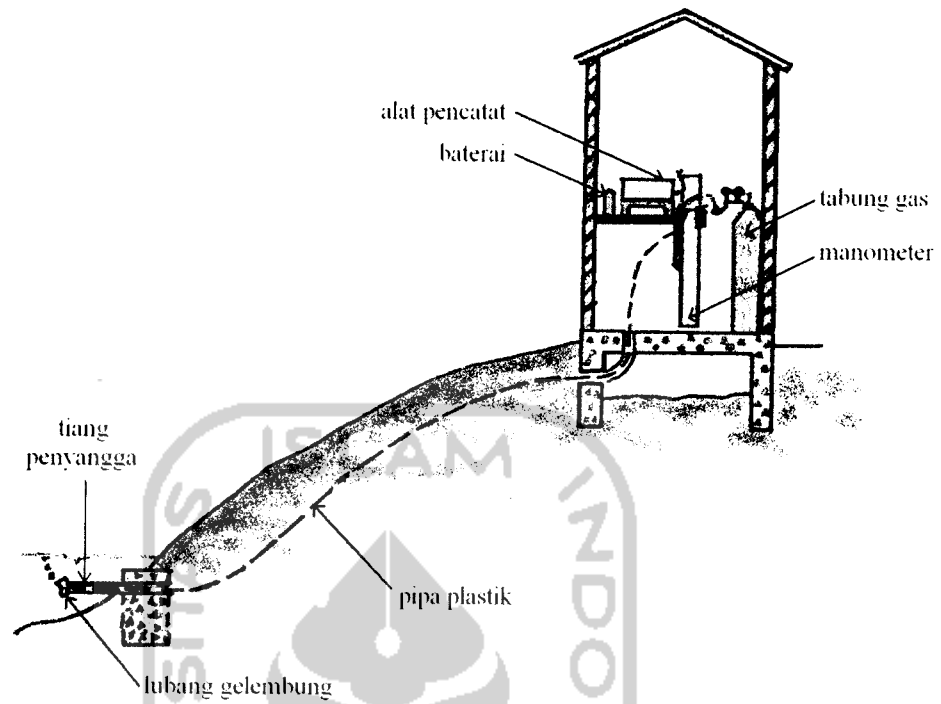
Alat ukur manual dapat berupa kabel atau papan duga. Pada sistem manual, data ketinggian yang diperoleh tergantung dari frekuensi pembacaan alat ukur tersebut dan akan sangat mahal bila diinginkan data ketinggian setiap saat. Biasanya data yang diperoleh merupakan data harian, mingguan, setengah bulan, atau saat yang diperlukan.



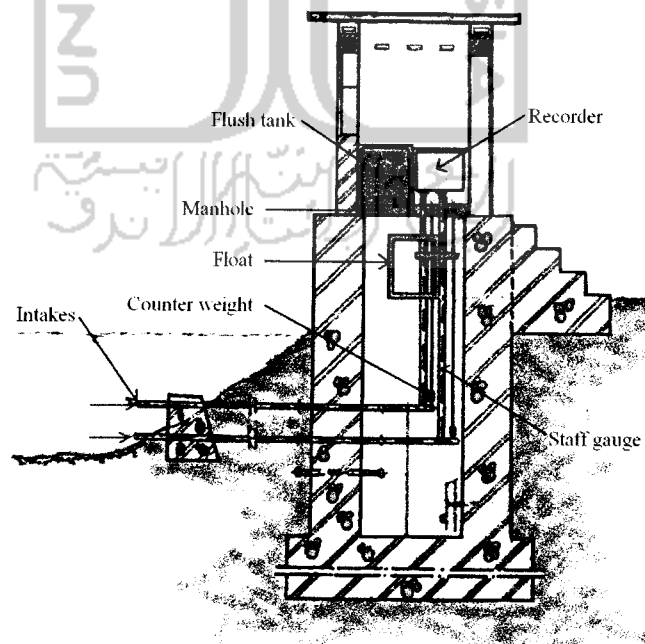
Gambar 2.12 Sketsa Papan Duga

2. AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

Dua tipe AWLR yang sering digunakan adalah tipe pengapung (*float*) dan gelembung (*buble*). Sketsa kedua alat ukur tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.12a dan 2.12b. Alat ukur otomatis mempunyai kelebihan dari alat ukur manual yaitu dapat mencatat ketinggian muka air secara menerus. Keluaran dari alat ukur otomatis adalah grafik tinggi muka air dari waktu ke waktu. Hubungan antara tinggi muka air dengan waktu disebut "*Stage Hydrograph*". Pada jangka waktu yang panjang maka secara statistik nilai-nilai puncak dapat dipakai sebagai dasar perhitungan nilai ekstrim.



Gambar 2.13a AWLR Tipe Gelembung



Gambar 2.13b AWLR Tipe Pengapung

2.5.3 Analisis Debit

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan besar debit rancangan, diantaranya adalah metode analisis debit terukur dan metode analisis debit teoritik.

1. Analisis Debit Terukur

Untuk debit terukur menggunakan data debit yang ada pada stasiun-stasiun hidrometri yang ada pada sungai Code. Data debitnya diperoleh dari data sekunder yang diambil dari Balai PSDA wilayah sungai Progo–Opak–Oyo Daerah Istimewa Yogyakarta, yang berupa Grafik lengkung Debit terukur di stasiun Pogung.

2. Analisis Debit Teoritik

Debit teoritik menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dan dengan metode sebaran hujan menurut hasil penelitian Sri Harto. Untuk mendapatkan suatu Hidrograf Satuan Sintetik Gama I perlu tersedia data yang baik, yaitu data AWLR, data pengukuran debit, data hujan harian dan data hujan jam-jaman.

2.6 BANJIR RANCANGAN

Banjir rancangan adalah besarnya debit banjir yang ditetapkan sebagai dasar penentuan kapasitas dan penetapan dimensi bangunan hidrolis, sedemikian sehingga kerusakan yang dapat ditimbulkan baik langsung maupun tidak langsung oleh banjir tidak boleh terjadi selama besaran banjir tidak terlampaui. Banjir rancangan dapat berupa debit-puncak, volume banjir, tinggi muka air maupun hidrograf. Cara-cara penetapan banjir rancangan sangat ditentukan oleh ketersediaan data yang ada, baik kuantitas maupun kualitas. Beberapa cara yang ditempuh dalam praktek analisis hidrologi yang masing-masing cara sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data, tingkat ketelitian dan hasil akhir yang diinginkan (debit maksimum saja atau berupa hidrograf banjir) serta kesesuaian cara dengan DAS yang ditinjau diantaranya (Sri Harto, 1993):

- a. Banjir Maksimum Terukur (*Maximum observed historical flood*). Cara ini dipergunakan apabila di dalam DAS yang bersangkutan sama sekali tidak tersedia data.
- b. Rumus empiris. Bila keadaan cukup menguntungkan karena adanya sedikit data hidrologi di DAS yang bersangkutan, maka cara ini dapat dipergunakan untuk memperkirakan besar debit puncak (*peak discharge*).
- c. Pemanfaatan data hujan. Cara ini mendasarkan pada persamaan rasional, yang dikembangkan sejak 1879 oleh Mulvaney. Persamaan yang dikembangkan sangat sederhana, dan memasukkan parameter DAS sebagai unsur pokok, selain sifat-sifat data hujan sebagai masukan.
- d. Untuk daerah-daerah yang secara hidrometeorologis seragam, dimungkinkan penyusunan *family curve* yang menyajikan hubungan debit khas (*specific discharge*) sebagai fungsi salah satu atau beberapa parameter DAS.
- e. *Probable Maximum Flood*, PMF. PMF adalah besaran debit maksimum yang masih diperkirakan dapat terjadi, yang ditimbulkan oleh semua faktor meteorologis dan hidrologis yang terburuk. Apabila data debit tidak tersedia, maka dapat didekati dengan probable maximum precipitation (PMP), dan memasukkan data tersebut ke dalam model. PMP diartikan sebagai besaran hujan terbesar yang secara wajar masih dapat diperkirakan akan terjadi.
- f. Analisis ekonomi. Cara ini tidak secara teknis langsung memberikan petunjuk tentang penyelesaian dan penetapan besaran rancangan, akan tetapi merupakan landasan pendekatan menyeluruh bila dipandang pemilihan besaran rancangan tersebut benar-benar mempunyai keterkaitan ekonomis yang cukup besar.
- g. Analisis frekuensi, Cara ini masih dipandang sebagai cara terbaik dengan memanfaatkan langsung data aliran sungai.

Selama ini dalam hidrologi dikenal beberapa cara analisis untuk memperoleh besaran banjir untuk suatu masukan dalam perancangan bangunan

hidroulik tertentu. Gupta (1967) menyebutkan cara analisis dikelompokkan dalam tiga golongan penting:

- a. Cara empirik,
- b. Cara statistik,
- c. Analisis dengan model.

Besarnya banjir rancangan dinyatakan dalam debit banjir sungai maksimum dengan kala ulang tertentu. Kala ulang debit adalah suatu nilai rerata kurun waktu dimana debit yang terjadi menyamai atau melampaui besarnya debit banjir yang ditetapkan (banjir rancangan). Sebagai contoh adalah apabila ditetapkan banjir rancangan dengan kala ulang T tahun, maka dapat diartikan bahwa kejadian debit banjir yang sama atau melampaui dari debit banjir rancangan terjadi rerata setiap T tahun sekali. Pernyataan tersebut dapat pula dikatakan bahwa periode ulang rata-rata kejadian debit banjir sama atau melampaui debit banjir rancangan adalah sekali setiap T tahun. Persamaan yang digunakan dalam analisis besarnya debit rancangan adalah sebagai berikut:

$$Q_{LL} = U \cdot He \dots \dots \dots (2.27)$$

$$Q_T = Q_{LL} \text{ Maks. } T \text{ tahun} + Q_{BF} \dots \dots \dots (2.28)$$

dengan

U = ordinat hidrograf satuan, dalam m^3/detik

He = hujan efektif, dalam mm

Q_{BF} = aliran dasar, dalam m^3/detik

Q_{LL} = debit limpasan langsung, dalam m^3/detik

Q_T = debit rancangan kala ulang T tahun, dalam m^3/detik

Analisis banjir rancangan dengan teknik hidrograf satuan terbagi dalam beberapa tahapan, yaitu tahapan analisis: hidrograf satuan, hujan rancangan, sebaran hujan, hujan efektif, dan nilai aliran dasar. Dengan diketahui ordinat hidrograf satuan dan hujan efektif, maka dengan cara konvolusi dapat dihitung hidrograf limpasan langsung, kemudian dengan menambahkan aliran dasar, dapat diketahui debit puncak sebagai nilai banjir rancangan (Q_T).

2.7 STUDI TERDAHULU

Kesulitan-kesulitan yang ada pada pendekatan teoritis untuk infiltrasi mengakibatkan dipakainya indeks-indeks infiltrasi. Dari indeks-indeks infiltrasi yang paling sederhana adalah indeks Φ , yang didefinisikan sebagai laju curah hujan dimana di atas laju ini curah hujan sama dengan volume limpasan (**Cook, H. L., 1946**).

Pendekatan infiltrasi menganggap bahwa limpasan permukaan dari suatu hujan yang diketahui adalah sama dengan bagian di curah hujan yang tak terbuang melalui (1) intersepsi dan tampungan lekukan, (2) penguapan selama hujan dan (3) infiltrasi. Bila butir 1 dan 2 tidak variabel atau tak berpengaruh, maka yang perlu diperhatikan hanyalah curah hujan, infiltrasi dan limpasan. Pola intensitas-waktu dari curah hujan jarang terjadi seragam di seluruh daerah alirannya, dan kurva daya resap yang dapat dipakai bervariasi dari titik ke titik tergantung pada tanah, tumbuh-tumbuhan dan kelengasan sebelumnya. Akhirnya, pendekatan infiltrasi mengabaikan mekanisme pembentukan hujan, selain penambahan air tanah harus ditentukan dengan cara lain. Karena alasan ini dan pertimbangan-pertimbangan lain, pendekatan infiltrasi tak pernah terbukti sebagai alat yang memuaskan bagi prediksi hidrograf. Indeks Φ digunakan dalam banyak studi hidrograf-satuan guna menetapkan pola waktu dari curah hujan berlebih. Dalam kasus-kasus serupa itu, volume limpasan aktualnya diketahui dan tidak ada masalah dalam menghitung Φ . Namun, karena diketahui bahwa infiltrasi aktualnya tidak konsisten, pola limpasan yang diturunkan dengan indeks Φ tak bisa tepat (**Linsley R.K, M.A Kohler, J.L.H Paulhus, 1988**).

Limpasan permukaan dimulai pada tempat dan saat intensitas curah hujan melampaui suatu tingkat dimana air dapat memasuki tanah. Laju maksimum dimana air bisa memasuki tanah pada suatu titik tertentu pada serangkaian kondisi tertentu disebut daya serap/kapasitas infiltrasi (**Horton, 1933**).

Penyebab kehilangan yang lebih besar adalah cegatan curah hujan oleh sudur hutan dan setelah itu penguapan daripadanya. Dari pengamatan lisimeter ditemukan bahwa sekitar 50 hingga 55 persen curah hujan pada sudur hutan

menembus hingga lantai hutan, sedangkan 12 sampai 23 persen lagi mencapai paras tanah lewat aliran batang pohon, sehingga antara 22 sampai 38 persen menguap dari sudur tersebut (*E. M. Wilson, 1969*).

Perkiraan indeks infiltrasi (Φ) dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologik dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi (*Barnes, 1959*).

Memperhatikan siklus hidrologi sebagai dasar analisis hidrologi, maka untuk dapat mengetahui perkiraan besaran banjir diperlukan besaran lain baik besaran hujan mangkus maupun besaran kehilangan air akibat berbagai sebab seperti intersepsi, infiltrasi, penguapan dan tampungan cekungan (*Sri Harto BR., 1993*).

Dalam analisis, debit yang terukur di stasiun hidrometri pada umumnya dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu aliran permukaan (dengan pengertian termasuk di dalamnya aliran antara) dan aliran dasar. Aliran dasar dianggap merupakan bagian aliran sungai yang ditimbulkan oleh infiltrasi. Karena berbagai kesulitan dalam memperkirakan bentuk eksponensial lengkung liku infiltrasi, maka besar infiltrasi dianggap tetap selama terjadinya hujan. Besar laju infiltrasi ini yang disebut sebagai indeks Φ . Untuk memperoleh indeks infiltrasi (Φ) sangat sulit. Untuk itu, dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Barnes (1959) (*Sri Harto BR., 1993*).

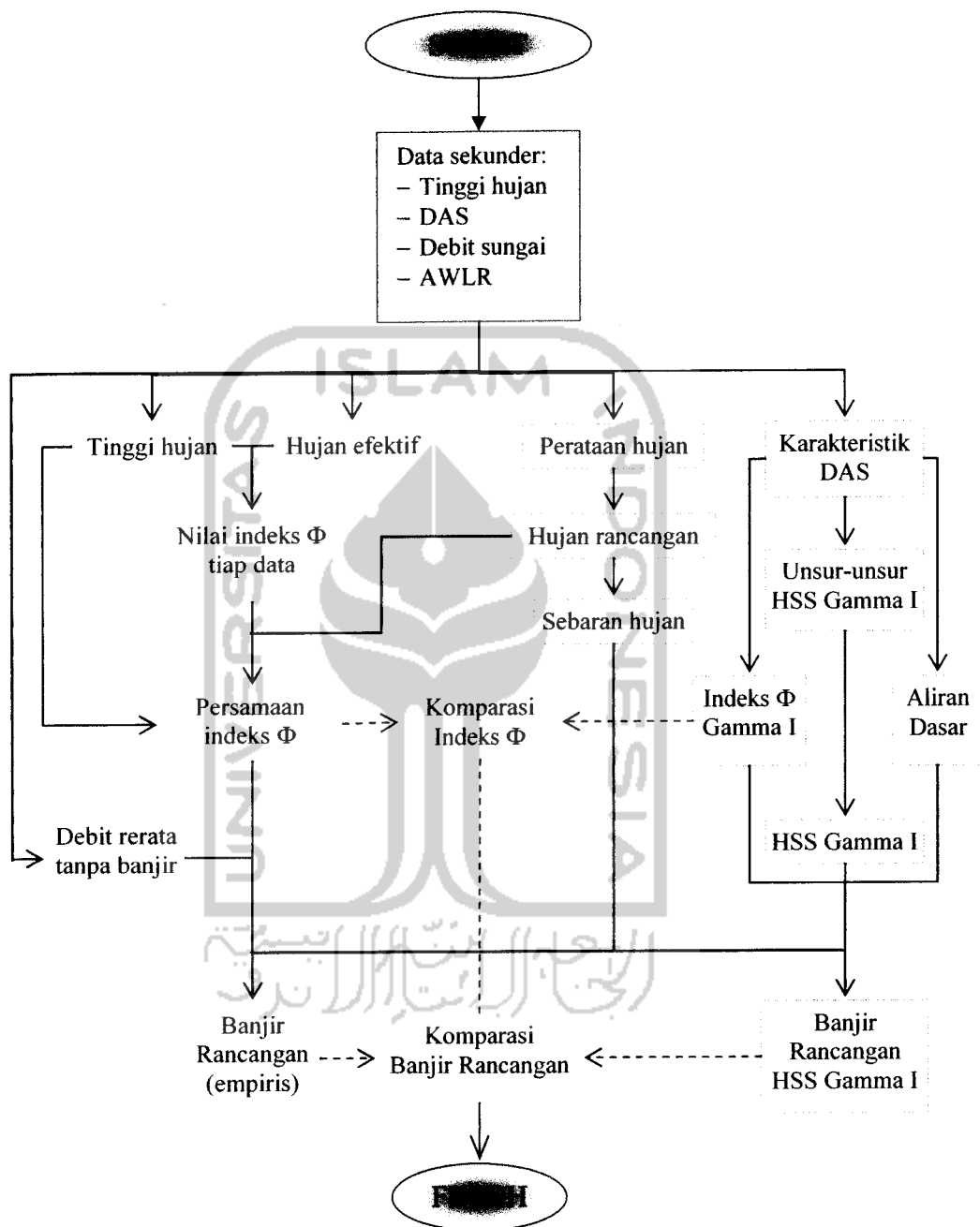
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 LOKASI

Penelitian tentang komparasi antara persamaan indeks Φ menurut hasil penelitian Sri Harto BR (1985) dengan persamaan indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan dilakukan di Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan lebih spesifik pada DAS Sungai Code terukur di stasiun hidrometri Pogung. Sungai Code merupakan salah satu sungai besar yang melintas dalam kota Yogyakarta selain dua sungai besar yang lain yaitu Winongo dan Gajahwong. Sungai Code terukur pada hilir sungai di bendung Pogung memiliki total luas daerah aliran sungai sebesar 28,1914 km² sepanjang kurang lebih 27 km mengalir melewati kabupaten Sleman. Berawal dari lereng gunung merapi dan bermuara di sungai Opak untuk selanjutnya diteruskan ke Samudra Indonesia.

3.2 CARA PENELITIAN

Untuk metode/cara yang digunakan dalam penelitian adalah *analytic-comparative*, yaitu dilakukan pengolahan data statistik dalam perhitungan nilai indeks Φ , kemudian dilakukan analisis besaran debit maksimum dengan teknik hidrograf satuan. Hasil analisis dikomparasikan antara debit maksimum baik dengan indeks Φ hasil penelitian HSS Gamma I maupun debit maksimum dengan indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan. Alur penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan *flow chart* pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Keterangan:

- > alur perhitungan
- - -> hubungan komparasi
- - - - -> hubungan pengamatan

Gambar 3.1 *Flow Chart* Perhitungan Dalam Kegiatan Penelitian

3.3 PENGUMPULAN DATA

Secara umum jenis data yang akan dikumpulkan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data sekunder adalah segala informasi yang diperoleh dari pihak lain yang berkompeten, tidak diperoleh langsung dari lapangan. Data sekunder dapat berupa catatan, hasil pengukuran, hasil analisis yang diperoleh oleh suatu instansi atau tim studi, buku-buku laporan proyek dan peraturan kebijaksanaan daerah. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung yang meliputi hasil pengamatan, pencatatan, pengukuran dan wawancara langsung pada sumber-sumber yang relevan, melalui survei lapangan. Berikut disampaikan daftar data sekunder yang diperlukan beserta tempat/instansi sumber data tersebut diperoleh, seperti dijabarkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Sekunder

| No | Data Sekunder | Sumber Data | Keterangan |
|----|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | Peta Topografi (Rupa Bumi) | Pusat Pelayanan Informasi Kebumian UGM | Peta DIY dengan skala 1 : 25.000 |
| 2 | Data curah hujan | Balai PSDA wilayah sungai Progo - Opak - Oyo DIY | Stasiun hujan untuk tahun 1991 - 2005 |
| 3 | Tabel debit sungai | Balai PSDA wilayah sungai Progo - Opak - Oyo DIY | Tahun 2003 |
| 4 | Data AWLR di stasiun Pogung | Balai PSDA wilayah sungai Progo - Opak - Oyo DIY | Stasiun Debit untuk tahun 2003 - 2005 |

Data hujan memuat catatan tinggi hujan dari stasiun hujan. Data hujan dapat berasal dari stasiun hujan otomatis maupun manual. Data hujan dari stasiun otomatis menginformasikan catatan hujan setiap waktu (*kontinyu*), data ini digunakan untuk analisis distribusi jam-jaman. Data hujan diambil dari stasiun hujan di DAS Code terukur di Pogung, di bawah pengelolaan Balai PSDA Wilayah Sungai Progo-Opak-Oya (POO), yaitu stasiun hujan: Kempud, Angin-angin, Prumpung dan Beran dengan durasi 15 tahun dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2005.

Data AWLR di stasiun Pogung memuat catatan tinggi muka air sungai di stasiun hidrometri Pogung. Sedangkan tabel debit sungai terukur di stasiun Pogung adalah nilai debit sungai yang dipengaruhi oleh tinggi muka air sungai yang terjadi di stasiun hidrometri Pogung. Nilai dari data debit terukur dan tinggi hujan rerata akan digunakan dalam analisis nilai Φ tiap data yang ditinjau guna menemukan persamaan indeks Φ yang dipengaruhi atas fungsi tinggi hujan.

3.4 PERSIAPAN DATA

Data sekunder yang terkumpul sebelum di analisis, dicek terlebih dahulu. Setelah dicek, data yang perlu diolah dikelompokkan sesuai dengan bagan alir perhitungan dalam penelitian. Dari data hujan yang ada dapat diketahui tinggi hujan pada titik yang ditinjau. Analisis selanjutnya diarahkan untuk memperkirakan besarnya debit rancangan dengan kala ulang tertentu. Ketersediaan data yang baik merupakan syarat yang mutlak jika akan dilakukan analisis hidrologi (hujan dan banjir rencana). Kualitas data yang baik dan kuantitas data yang mencukupi didukung dengan tahapan analisis yang benar akan menghasilkan kualitas rancangan yang valid juga. Untuk menganalisis banjir rancangan, dibutuhkan data debit terukur ataupun data hujan maksimum.

3.4.1 Hujan Rerata DAS

Data hujan di tiap stasiun merupakan data hujan setempat. Akan tetapi, dalam analisis umumnya yang diinginkan adalah data hujan rerata DAS (*catchment rainfall*). Untuk menghitung besaran ini dapat ditempuh dengan beberapa cara, dalam penelitian ini digunakan cara Poligon Thiessen. Poligon Thiessen adalah salah satu cara yang banyak digunakan dan memberikan hasil yang cukup baik. Cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan, dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di stasiun yang bersangkutan.

Cara Poligon Thiessen menganggap bahwa data hujan suatu tempat pengamatan dapat dipakai untuk suatu luasan daerah pengaruh. Maka curah hujan merata bagi seluruh daerahnya adalah jumlah dari perkalian hasil pengamatan tiap tempat pengukuran dengan persentase luasnya. Untuk hitungan luas poligon diperlukan peta batas DAS, kemudian letak stasiun-stasiun hujan diplotkan pada peta tersebut. Untuk hasil dari penggambaran menggunakan metode Poligon Thiessen dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.4.2 Hujan Harian Rerata Maksimum Tahunan

Sebelum mendapatkan nilai hujan harian maksimum tahunan, dilakukan perhitungan dengan mencari nilai rerata daerah setiap bulannya. Setelah didapatkan nilai rerata daerah setiap bulannya, maka dicari maksimumnya dalam setiap bulan, selanjutnya dari maksimum setiap bulan dalam tahun tersebut dicari maksimumnya untuk mendapatkan nilai hujan harian rerata maksimum tahunan. Berikut nilai dari hujan harian maksimum tahunan dari tahun 1991–2005 yang disajikan pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Hujan Harian Rerata Maksimum Tahunan

| Tahun | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|
| R_{24max} (mm) | 97 | 85 | 68 | 71 | 95 | 73 | 110 | 86 | 71 | 140 | 48 | 24 | 75 | 89 | 116 |

Sumber : Hasil pengolahan data

3.4.3 Karakteristik DAS Code Terukur Di Pogung

Dari pengukuran peta rupa bumi (topografi) diperoleh besaran-besaran karakteristik DAS yang disajikan pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Karakteristik DAS Code Terukur Di Pogung

| No | Parameter | Simbol | Nilai | Dimensi |
|----|-------------------------------|--------|---------|--------------------|
| 1 | Luas DAS | A | 28.1914 | km ² |
| 2 | Panjang sungai utama | L | 27 | km |
| 3 | Panjang sungai tingkat satu | | 27 | km |
| 4 | Panjang sungai semua tingkat | | 91.25 | km |
| 5 | Pangsa sungai tingkat satu | | 27 | |
| 6 | Pangsa sungai semua tingkat | | 34 | |
| 7 | Jumlah pertemuan sungai | JN | 26 | |
| 8 | Lebar DAS pada jarak 0.25L | WL | 1.2596 | km |
| 9 | Lebar DAS pada jarak 0.75L | WU | 1.1435 | km |
| 10 | Luas area bagian hulu | AU | 13.0525 | km ² |
| 11 | Slope | S | 0.0433 | km/km |
| 12 | Faktor sumber | SF | 0.2959 | |
| 13 | Frekuensi sumber | SN | 0.7941 | |
| 14 | Faktor lebar | WF | 0.9079 | |
| 15 | Luas relatif DAS sebelah hulu | RUA | 0.4630 | |
| 16 | Faktor simetri | SIM | 0.4203 | |
| 17 | Kerapatan jaringan kuras | D | 1.2060 | km/km ² |

Sumber : Hasil pengolahan data

3.4.4 Debit Rerata Tanpa Banjir

Debit rerata tanpa banjir adalah aliran dasar yang terukur di stasiun Pogung. Nilai debit rerata tanpa banjir didapatkan dari pengamatan data AWLR terukur di Pogung yang nilainya tidak berpengaruh terhadap terjadinya banjir, kemudian diambil nilai TMA 80 % dari selisih antara nilai terendah dengan nilai tertinggi dari data yang ditinjau. Nilai TMA 80 % tersebut dikorelasikan pada tabel debit sungai terukur di Pogung (Lampiran 3) sehingga didapatkan nilai debit yang dinyatakan sebagai aliran dasar terukur di Pogung. Data AWLR yang ditinjau adalah tinggi muka air yang terukur di stasiun Pogung dari tahun 2004

sampai dengan tahun 2005. TMA dari pengamatan grafik AWLR disajikan dalam Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4. Nilai TMA Sebagai Debit Rerata Tanpa Banjir

| Bulan | TMA debit rerata tanpa banjir (m) | |
|-----------|-----------------------------------|------------|
| | Tahun 2004 | Tahun 2005 |
| Januari | 0.1060 | 0.3070 |
| Februari | 0.0600 | 0.4633 |
| Maret | 0.0767 | 0.6182 |
| April | 0.0600 | 0.7500 |
| Mei | 0.0800 | 0.7000 |
| Juni | 0.0717 | 0.6833 |
| Juli | 0.0817 | 0.6529 |
| Agustus | 0.0900 | 0.6725 |
| September | 0.0750 | 0.6670 |
| Oktober | 0.0900 | 0.6760 |
| November | 0.0967 | 0.6770 |
| Desember | 0.1343 | 0.7413 |
| TMA 80% | 0.56 | |

Sumber : Hasil pengolahan data

Dari hasil pengolahan data didapatkan nilai TMA 80% dari selisih nilai terendah dengan nilai tertinggi adalah 0.56 meter, sehingga setelah dikorelasikan dengan tabel debit sungai (Lampiran 3) didapatkan nilai debit rerata tanpa banjir sebesar 3 m³/s.

3.4.5 Hujan Efektif Terukur

Hujan efektif ditentukan dari hyetograf hujan dengan menganggap bahwa data aliran sungai sesuai dengan data hujannya. Dengan demikian aliran dasar dapat dipisahkan dari aliran sungai untuk menghasilkan hidrograf aliran langsung, dan selanjutnya hidrograf hujan efektif dapat diperoleh. Dalam penelitian ini,

diambil 25 data hujan dengan satu puncak yang terjadi dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2005. Nilai hujan efektif yang didapat tiap data nantinya akan digunakan dalam analisis untuk menentukan nilai indeks Φ yang terjadi tiap data yang ditinjau. Hujan efektif terukur untuk data 1 sampai data 25 disajikan dalam Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Hujan Efektif Terukur

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Data | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| He (mm) | 0.28 | 0.01 | 0.04 | 0.25 | 0.38 | 0.21 | 0.03 | 0.03 | 0.10 |
| Data | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| He (mm) | 1.03 | 0.35 | 0.11 | 0.24 | 1.21 | 0.53 | 3.23 | 0.13 | 0.83 |
| Data | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | | |
| He (mm) | 2.18 | 0.25 | 0.64 | 0.73 | 1.17 | 1.03 | 0.66 | | |

Sumber : Hasil pengolahan data

3.4.6 Tinggi Hujan Terukur

Dalam penelitian ini, untuk menentukan hujan rerata DAS digunakan cara Poligon Thiessen. Nilai tinggi hujan terukur yang didapat tiap data nantinya akan digunakan dalam analisis untuk menentukan nilai indeks Φ yang terjadi tiap data yang ditinjau. Pengambilan data tinggi hujan terukur harus disesuaikan dengan data hujan efektif terukur. Tinggi hujan terukur untuk data 1 sampai data 25 disajikan dalam Tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3.6 Tinggi Hujan Terukur

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Data | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΣP (mm) | 2.3 | 1.94 | 4.25 | 2.16 | 1.85 | 1.26 | 1.76 | 3.04 | 1.65 |
| Data | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ΣP (mm) | 4.44 | 1.63 | 0.42 | 0.37 | 2.43 | 4.79 | 4.11 | 3.44 | 3.04 |
| Data | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | | |
| ΣP (mm) | 9.11 | 0.47 | 4.34 | 0.93 | 4.62 | 12.12 | 0.66 | | |

Sumber : Hasil pengolahan data

3.5 ANALISIS DATA

Analisis data yang perlu dilakukan dalam penelitian untuk mengetahui kesesuaian nilai indeks Φ antara analisis banjir rancangan cara HSS Gamma I dengan nilai terukur adalah sebagai berikut:

1. Hujan Rancangan dan Sebaran Hujan
2. Hidrograf Satuan Sintetik Gama I
3. Persamaan Indeks Φ yang dipengaruhi tinggi hujan terukur
4. Banjir Rancangan (Cara HSS Gamma I dan nilai terukur)

3.5.1 Hujan Rancangan

Hujan rancangan untuk keperluan analisis banjir rancangan ditentukan berdasarkan metode analisis frekuensi. Berikut hasil hitungan analisis frekuensi hujan seperti yang tersaji pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Analisis Frekuensi Hujan Harian Rerata Maksimum

| Tahun | Ri (mm) | (Ri - \bar{R}) | (Ri - \bar{R}) ² | (Ri - \bar{R}) ³ | (Ri - \bar{R}) ⁴ |
|---------------|------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1991 | 96.92 | 13.8428 | 191.6237 | 2652.6133 | 36719.6556 |
| 1992 | 85.16 | 2.0813 | 4.3316 | 9.0152 | 18.7628 |
| 1993 | 67.65 | -15.4298 | 238.0775 | -3673.4778 | 56680.8774 |
| 1994 | 70.56 | -12.5182 | 156.7063 | -1961.6871 | 24556.8684 |
| 1995 | 95.18 | 12.1009 | 146.4312 | 1771.9466 | 21442.1087 |
| 1996 | 72.59 | -10.4939 | 110.1222 | -1155.6120 | 12126.8886 |
| 1997 | 109.99 | 26.9108 | 724.1904 | 19488.5317 | 524451.6942 |
| 1998 | 85.48 | 2.4031 | 5.7749 | 13.8777 | 33.3496 |
| 1999 | 70.84 | -12.2375 | 149.7564 | -1832.6431 | 22426.9656 |
| 2000 | 140.22 | 57.1418 | 3265.1869 | 186578.6981 | 10661445.1737 |
| 2001 | 47.65 | -35.4297 | 1255.2670 | -44473.7908 | 1575695.1509 |
| 2002 | 24.21 | -58.8738 | 3466.1244 | -204063.9172 | 12014018.3790 |
| 2003 | 75.17 | -7.9098 | 62.5654 | -494.8817 | 3914.4299 |
| 2004 | 88.84 | 5.7632 | 33.2141 | 191.4188 | 1103.1795 |
| 2005 | 115.73 | 32.6490 | 1065.9544 | 34802.2997 | 1136258.7943 |
| Jumlah | 1246.20 | 0 | 10875.3263 | -12147.6085 | 26090892.2784 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Parameter statistik dalam penyelesaian analisis frekuensi data hujan harian rerata daerah maksimum adalah:

- Jumlah data hujan (n) = 15 tahun
- Jumlah total R_{24} Maksimum = $\sum R_i = 1246.20$ mm
- Rata-rata (\bar{R}) = $\frac{1}{n} \sum R_i = \frac{1}{15} \times 1246.20 = 83.08$ mm
- Standar Deviasi (σ) = $\sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{10875.3263}{(15-1)}} = 27.8713$
- Koefisien Variasi (C_v) = $\frac{\sigma}{\bar{R}} = \frac{27.8713}{83.08} = 0.3355$
- Koefisien Scewness (C_s) = $\frac{n}{(n-1)(n-2)\sigma^3} \times \sum (R_i - \bar{R})^3$
 $= \frac{15}{(15-1)(15-2) \cdot 27.8713^3} \times (-12147.6085)$
 $= -0.0462$
- Koefisien Kurtosis (C_k) = $\frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)\sigma^4} \times \sum (R_i - \bar{R})^4$
 $= \frac{15^2}{(15-1)(15-2)(15-3) \cdot 27.8713^4} \times 26090892$
 $= 4.4544$

Dari nilai parameter statistik data hujan harian rerata daerah maksimum kemudian diplotkan pada grafik perkiraan jenis sebaran atas dasar nilai C_v dan C_s dalam analisis distribusi untuk mengestimasi kejadian frekuensi tertentu. Parameter statistik yang telah diplotkan dalam grafik perkiraan jenis sebaran atas dasar nilai C_v dan C_s dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.

Dari grafik didapat bahwa untuk $C_s = -0,0462$ dan $C_v = 0,3355$ termasuk dalam Pearson Type III. Selanjutnya, dalam perhitungan hujan rancangan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$k_T = z + (z^2-1)k + 1/3(z^3-6z)k^2 - (z^2-1)k^3 + zk^4 + (1/3)k^5$$

$$R_T = \bar{R} + (k_T \times \sigma)$$

dengan

$$\text{"k"} \text{ adalah } \frac{C_s}{6} = \frac{-0.0462}{6} = -0.0077$$

Untuk kala ulang 5 tahun ($T = 5$).

$$\begin{aligned} \text{maka } P &= 1 - \frac{1}{T} \\ &= 1 - \frac{1}{5} \\ &= 0.80 \end{aligned}$$

Dari nilai $P = 0.80$ didapatkan nilai $z = 0.84$ (lihat Tabel "*Cumulative probability of the standard normal distribution*" pada lampiran 1).

Faktor frekuensi dengan kala ulang 5 tahun (k_5):

$$\begin{aligned} k_5 &= 0.84 + (0.84^2 - 1) 0,0077 + 1/3 (0.84^3 - 6 \times 0.84) 0,0077^2 - (0.84^2 - 1) \\ &\quad 0,0077^3 + 0.84 \times 0,0077^4 + 1/3 \times 0,0077^5 \\ &= 1,75 + 0,0159 + (-0,0001) + 9,4 \cdot 10^{-7} + 6,15 \cdot 10^{-9} + 9,02 \cdot 10^{-12} \\ &= 0.8422 \end{aligned}$$

Hujan rancangan dengan kala ulang 5 tahun (R_5):

$$\begin{aligned} R_5 &= \bar{R} + (k_5 \times \sigma) \\ &= 83.08 + (0.8422 \times 27.8713) \\ &= 106.5526 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hujan rancangan dengan kala ulang 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun didapatkan hasilnya berurutan sebagai berikut : 118,6150; 131,4089; 139,5262; 147,0680; 153,7739 dan 161,7862 mm.

Setelah didapatkannya hujan rancangan kala ulang dengan metoda analisis frekuensi serta analisis distribusi Pearson Type III, dilanjutkan perhitungan sebaran hujan menurut hasil penelitian Sri Harto BR. Berikut sebaran hujan menurut hasil penelitian Sri Harto BR dengan kala ulang 5 tahun yang tersaji dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Sebaran Hujan Menurut Hasil Penelitian Sri Harto BR

| $R_5 = 106.553 \text{ mm}$ | | |
|----------------------------|----|---------|
| Jam ke | % | Ri(mm) |
| 1 | 24 | 25.5726 |
| 2 | 26 | 27.7037 |
| 3 | 17 | 18.1139 |
| 4 | 7 | 7.45868 |
| 5 | 5 | 5.32763 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Selanjutnya, untuk sebaran hujan jam-jaman dengan kala ulang 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 sama perhitungannya (lihat Tabel sebaran hujan menurut Sri Harto BR pada Lampiran 4).

3.5.2 Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I terdiri atas 4 parameter pokok, yaitu waktu naik (TR), debit puncak (Qp), waktu dasar (TB) dan koefisien tampungan (K). Di bawah ini ditunjukkan persamaan-persamaan beserta hasil hitungannya yang digunakan untuk menurunkan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I DAS Code terukur di Pogung dalam Tabel 3.9.



Tabel 3.9 Persamaan-persamaan HSS Gama I

| Persamaan | Simbol | Formula | Nilai | Satuan |
|-----------------------------|------------------|---|---------|-------------------|
| Waktu naik | TR | $0,43(L/(100 \times SF))^3 + 1,0665 \times$ $SIM + 1,2775$ | 2.0525 | jam |
| Waktu dasar | TB | $27,4132 \times TR^{0,1457} \times S^{-0,0986} \times$ $SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574}$ | 28.7307 | jam |
| Debit puncak | QP | $0,1836 \times A^{0,5886} \times TR^{-0,4008} \times$ $JN^{0,2381}$ | 2.1338 | m ³ /s |
| Koefisien tampungan | K | $0,5617 \times A^{0,1798} \times S^{-0,1446} \times SF^{-}$ $1,0897 \times D^{0,0452}$ | 6.1300 | jam |
| Aliran dasar (Base flow) | QB | $0,4751 \times A^{0,6444} \times D^{0,943}$ | 4.8749 | m ³ /s |
| Kehilangan hujan | Indeks Φ | $10,4903 - 3,8569 \times 10^{-6} \times A^2 +$ $1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4$ | 10.4872 | mm |

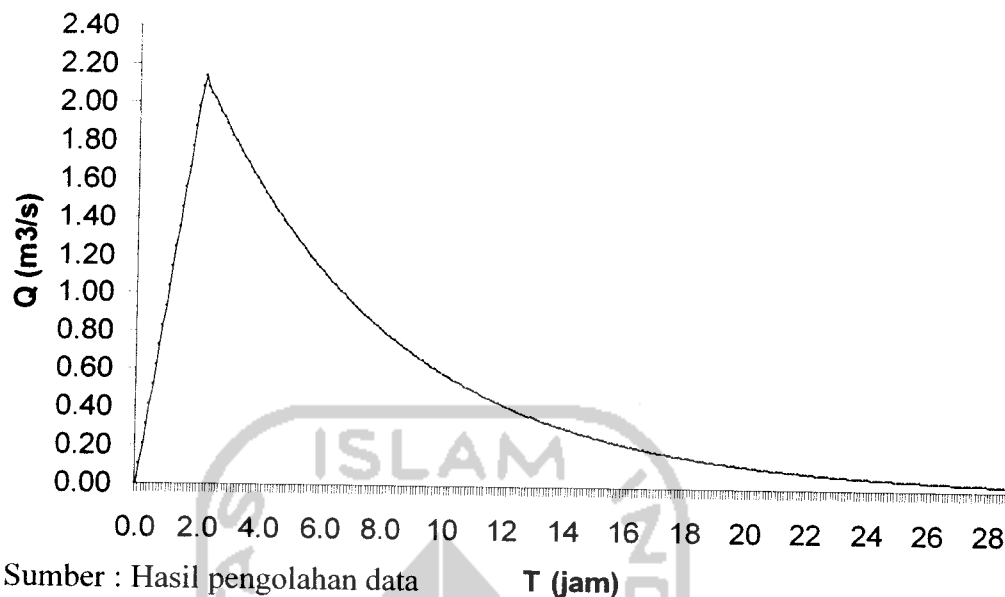
Sumber : Hasil pengolahan data

Hasil hitungan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I di atas disajikan pada Tabel 3.10 sebagai Ordinatif HSS Gamma I, atau dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.10 Ordinasi HSS Gamma I

| T (jam) | Ordinat HSS Gamma I (m³/s) |
|--------------------|--|
| 0 | 0.00000 |
| 1 | 1.03961 |
| 2 | 2.07921 |
| 2.053 | 2.13380 |
| 3 | 1.82821 |
| 4 | 1.55302 |
| 5 | 1.31926 |
| 6 | 1.12068 |
| 7 | 0.95199 |
| 8 | 0.80870 |
| 9 | 0.68697 |
| 10 | 0.58357 |
| 11 | 0.49573 |
| 12 | 0.42111 |
| 13 | 0.35772 |
| 14 | 0.30388 |
| 15 | 0.25814 |
| 16 | 0.21928 |
| 17 | 0.18627 |
| 18 | 0.15824 |
| 19 | 0.13442 |
| 20 | 0.11419 |
| 21 | 0.09700 |
| 22 | 0.08240 |
| 23 | 0.06999 |
| 24 | 0.05946 |
| 25 | 0.05051 |
| 26 | 0.04291 |
| 27 | 0.03645 |
| 28 | 0.03096 |

Sumber : Hasil pengolahan data



Gambar 3.2 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

3.5.3 Indeks Φ

Indeks Φ ditentukan dari hyetograf hujan dengan menganggap, bahwa data aliran sungai sesuai dengan data hujannya. Nilai indeks Φ adalah selisih antara tinggi hujan yang ditinjau terhadap hujan efektif yang terjadi. Kemudian dicari model empiris indeks Φ yang dipengaruhi oleh tinggi hujan terukur dari data yang ditinjau. Nilai dari persamaan indeks Φ yang didapat nantinya akan digunakan dalam perhitungan banjir rancangan terukur.

Setelah didapatkan nilai indeks Φ terukur, maka perhitungan selanjutnya yaitu membuat grafik hubungan antara indeks Φ terukur dengan tinggi hujan terukur dari tiap data yang ditinjau. Dari grafik hubungan antara antara indeks Φ terukur dengan tinggi hujan terukur, dibuat persamaan regresi untuk mendapatkan suatu fungsi indeks Φ dengan variabel tinggi hujan. Nilai indeks Φ terukur dari 25 data dapat dilihat pada Tabel 3.11 di bawah ini.

Tabel 3.11 Indeks Φ Terukur Tiap Data

| Data | n | Tinggi hujan (mm) | He (mm) | Σ Indeks Φ (mm) | Indeks Φ (mm) |
|------|---|----------------------|------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 2.3018 | 0.2835 | 2.0183 | 1.3181 |
| 2 | 2 | 1.9367 | 0.0128 | 1.9239 | 1.7838 |
| 3 | 1 | 4.2522 | 0.0434 | 4.2087 | 4.2087 |
| 4 | 1 | 2.1545 | 0.2477 | 1.9068 | 1.9068 |
| 5 | 2 | 1.8458 | 0.3754 | 1.4703 | 0.9317 |
| 6 | 2 | 1.2604 | 0.2094 | 1.0510 | 0.7242 |
| 7 | 1 | 1.7560 | 0.0332 | 1.7228 | 1.7228 |
| 8 | 1 | 3.0373 | 0.0332 | 3.0041 | 3.0041 |
| 9 | 1 | 1.6458 | 0.1022 | 1.5436 | 1.5436 |
| 10 | 3 | 4.4349 | 1.0344 | 3.4005 | 1.7666 |
| 11 | 2 | 1.6339 | 0.3448 | 1.2891 | 0.6446 |
| 12 | 1 | 0.4201 | 0.1098 | 0.3103 | 0.3103 |
| 13 | 1 | 0.3645 | 0.2375 | 0.1270 | 0.1270 |
| 14 | 2 | 2.4298 | 1.2106 | 1.2192 | 0.6096 |
| 15 | 1 | 4.7908 | 0.5338 | 4.2570 | 4.2570 |
| 16 | 3 | 4.1081 | 3.2308 | 0.8773 | 0.4153 |
| 17 | 1 | 3.4357 | 0.1251 | 3.3105 | 3.3105 |
| 18 | 1 | 3.0373 | 0.8288 | 2.2085 | 2.2085 |
| 19 | 1 | 9.1118 | 2.1760 | 6.9358 | 6.9358 |
| 20 | 2 | 0.4728 | 0.2528 | 0.2199 | 0.1100 |
| 21 | 1 | 4.3376 | 0.6385 | 3.6991 | 3.6991 |
| 22 | 2 | 0.9337 | 0.7343 | 0.1994 | 0.1060 |
| 23 | 3 | 4.6206 | 1.1697 | 3.4509 | 1.9332 |
| 24 | 4 | 12.1208 | 1.0267 | 11.0941 | 4.3031 |
| 25 | 2 | 2.8487 | 0.6602 | 2.1885 | 1.6283 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Analisis regresi yang digunakan adalah regresi nonlinier, yaitu suatu metode untuk mendapatkan model nonlinier yang menyatakan hubungan tinggi hujan sebagai variabel bebas terhadap indeks Φ . Grafik regresi hubungan antara indeks Φ terhadap tinggi hujan dapat dilihat pada Gambar 3.3. Dari analisis regresi didapatkan persamaan regresinya adalah :

$$y = 1,5085\ln(x) + 0,7147$$

atau

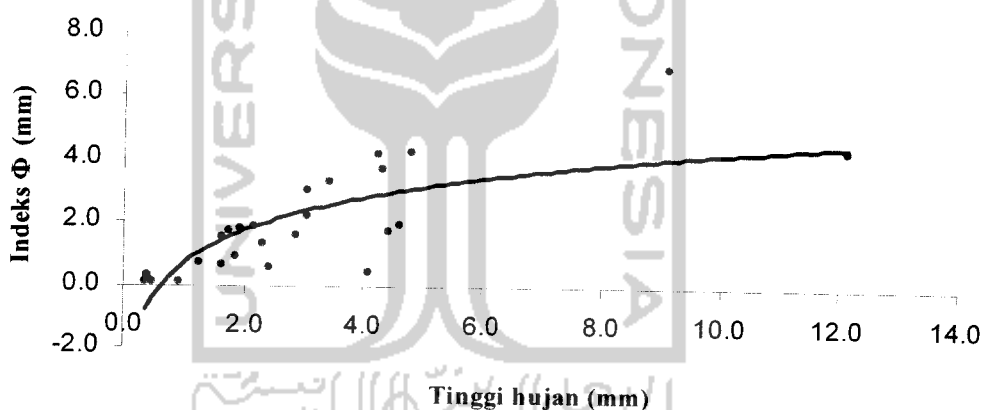
$$\text{indeks } \Phi = 1,5085\ln(R_T) + 0,7147$$

dengan

$$\text{Korelasi (R)} = 0,7846$$

$$\text{Koefisien determinasi (R}^2\text{)} = 0,5929 = 59,29\%$$

$$F = 33,4901$$



Gambar 3.3 Grafik Regresi Antara Indeks Φ vs Tinggi Hujan (R_T)

Persamaan indeks Φ di atas adalah persamaan regresi dalam tingkat penerimaan tertentu/terbaik dari data yang tersedia. Dari persamaan regresi yang didapat, dihasilkan koefisien determinasi sebesar 59,29% yaitu variasi indeks Φ dijelaskan oleh variasi pada nilai tinggi hujan. Korelasi antara variabel tinggi hujan dan indeks Φ sebesar 0,78. Hal ini menunjukkan hubungan antara keduanya cukup erat. Nilai indeks Φ dari persamaan regresi yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan banjir rancangan empiris dapat dilihat pada Tabel 3.12 di bawah ini.

Tabel 3.12 Nilai Indeks Φ Atas Dasar Fungsi Tinggi Hujan

| Kala Ulang (T) | R_T (mm) | Indeks Φ (mm) |
|-------------------|---------------|-----------------------|
| 5 | 106.5526 | 7.7573 |
| 10 | 118.6150 | 7.9191 |
| 25 | 131.4089 | 8.0736 |
| 50 | 139.5262 | 8.1641 |
| 100 | 147.0680 | 8.2435 |
| 200 | 153.7739 | 8.3107 |
| 500 | 161.7862 | 8.3873 |

Sumber : Hasil pengolahan data

3.5.4 Banjir Rancangan

Dalam penelitian ini, dilakukan dua perhitungan banjir rancangan yaitu cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dan nilai terukur. Dasar dalam perhitungan banjir rancangan, yaitu komponen aliran (debit) pada sungai dapat dimasukkan ke dalam persamaan:

$$Q_s = Q_{LL} + Q_{bf}$$

$$Q_s \text{ max} = Q_{LL} \text{ max} + Q_{bf} \text{ atau } Q_{T\text{max}} = Q_{LL} \text{ max}(T \text{ tahun}) + Q_{bf}$$

$$Q_s \text{ max} = Q_T$$

$$Q_{LL} = U_{HSS} \times H_e$$

$$H_e = H_{\text{total}} - \Phi$$

1. Banjir rancangan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Dalam perhitungan banjir rancangan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I, nilai indeks Φ sebesar 10,4872 mm dan nilai aliran dasar (Q_{bf}) sebesar 4,8749 m³/s. Untuk kala ulang 5 tahun ($R_T = R_5$), nilai banjir rancangan ($Q_s \text{ max}$) adalah:

a. Pada jam ke 1, diperoleh:

$$H_e = 25,5726 - 10,4872 = 15,0854 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 15,0854 \times 1,0396 = 15,6829 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} = 15,6829 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Pada jam ke 2, diperoleh :

$$H_e = 27,7037 - 10,487 = 17,2164 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 15,0854 \times 2,0792 = 31,3657 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL2} = 17,2164 \times 1,0396 = 17,8983 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} + Q_{LL2} = 49,2640 \text{ m}^3/\text{s}$$

c. Pada jam ke 3, diperoleh:

$$H_e = 18,1140 - 10,4872 = 7,6267 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 15,0854 \times 1,8282 = 27,5792 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL2} = 17,2164 \times 2,0792 = 35,7966 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL3} = 7,6267 \times 1,0396 = 7,9288 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} + Q_{LL2} + Q_{LL3} = 71,3046 \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk jam ke-4 dan seterusnya hampir sama cara perhitungannya. Dari hasil $\sum Q_{LL}$ tiap jam yang ditinjau, dicari nilai maksimum yang hasilnya dinamakan $Q_{LL \text{ max}}$. Selanjutnya nilai $Q_{LL \text{ max}}$ digunakan dalam menentukan nilai $Q_s \text{ max}$, yaitu:

$$Q_s \text{ max} = 71,3046 + 4,8749 = 76,1795 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Nilai banjir rancangan untuk tiap kala ulang dapat dilihat pada Tabel 3.13 di bawah ini.

Tabel 3.13 Banjir Rancangan Cara HSS Gamma I

| Kala ulang | Indeks Φ (mm) | Q_{br} (m ³ /s) | $Q_s \text{ max}$ (m ³ /s) |
|------------|--------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 5 | 10.4872 | 4.8749 | 76.1795 |
| 10 | 10.4872 | 4.8749 | 90.1288 |
| 25 | 10.4872 | 4.8749 | 105.5009 |
| 50 | 10.4872 | 4.8749 | 115.2541 |
| 100 | 10.4872 | 4.8749 | 124.3158 |
| 200 | 10.4872 | 4.8749 | 132.6609 |
| 500 | 10.4872 | 4.8749 | 142.8709 |

Sumber : Hasil pengolahan data

2. Banjir rancangan cara nilai terukur

Banjir rancangan cara nilai terukur disini bersifat empiris karena dipengaruhi oleh nilai indeks Φ dari hasil regresi dalam penelitian. Dalam perhitungan banjir rancangan, nilai debit rerata tanpa banjir (Q_{br}) sebesar $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Untuk kala ulang 5 tahun ($R_T = R_5$) dengan nilai indeks Φ (empiris) sebesar $7,7573 \text{ mm}$, nilai banjir rancangan ($Q_s \text{ max}$) adalah:

a. Pada jam ke 1, diperoleh:

$$H_e = 25,5726 - 7,7573 = 17,8153 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 17,8153 \times 1,0396 = 18,5209 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} = 18,5209 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pada jam ke 2, diperoleh :

$$H_e = 27,7037 - 7,7573 = 19,9463 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 17,2164 \times 2,0792 = 37,0417 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL2} = 19,9463 \times 1,0396 = 20,7363 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} + Q_{LL2} = 57,7781 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Pada jam ke 3, diperoleh:

$$H_e = 18,1140 - 7,7573 = 10,3566 \text{ mm}$$

$$Q_{LL1} = 17,8153 \times 1,8282 = 32,5700 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL2} = 19,9463 \times 2,0792 = 41,4726 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{LL3} = 10,3566 \times 1,0396 = 10,7668 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sum Q_{LL} = Q_{LL1} + Q_{LL2} + Q_{LL3} = 84,8094 \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk jam ke-4 dan seterusnya hampir sama cara perhitungannya. Dari hasil $\sum Q_{LL}$ tiap jam yang ditinjau, dicari nilai maksimum yang hasilnya dinamakan $Q_{LL} \text{ max}$. Selanjutnya nilai $Q_{LL} \text{ max}$ digunakan dalam menentukan nilai $Q_s \text{ max}$, yaitu:

$$Q_s \text{ max} = 85,6671 + 3 = 88,6671 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Nilai banjir rancangan dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.14 di bawah ini.

Tabel 3.14 Banjir Rancangan (Empiris)

| Kala ulang | Indeks Φ (mm) | Q_{bf} (m ³ /s) | Q_{smax} (m ³ /s) |
|------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 7.7573 | 3 | 86.8471 |
| 10 | 7.9191 | 3 | 100.8561 |
| 25 | 8.0736 | 3 | 116.1549 |
| 50 | 8.1641 | 3 | 125.9110 |
| 100 | 8.2435 | 3 | 135.0054 |
| 200 | 8.3107 | 3 | 143.1134 |
| 500 | 8.3873 | 3 | 147.8008 |

Sumber : Hasil pengolahan data,

Setelah didapatkan nilai banjir rancangan dengan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dan nilai terukur yang bersifat empiris, kemudian dilakukan komparasi antara banjir rancangan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dengan banjir rancangan cara nilai terukur (empiris). Komparasi antara indeks Φ cara Hidrograf Satuan Sintetis Gamma I dengan indeks Φ (empiris) dapat dilihat pada Tabel 3.15 di bawah ini.

Tabel 3.15 Komparasi Indeks Φ

| Kala ulang (T) | Indeks Φ (mm) | | Selisih (mm) | Selisih (%) |
|-------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | Gamma I | Hasil penelitian | | |
| 5 | 10.4872 | 7.7573 | 2.7299 | 26.03 |
| 10 | 10.4872 | 7.9191 | 2.5681 | 24.49 |
| 25 | 10.4872 | 8.0736 | 2.4136 | 23.01 |
| 50 | 10.4872 | 8.1641 | 2.3232 | 22.15 |
| 100 | 10.4872 | 8.2435 | 2.2438 | 21.40 |
| 200 | 10.4872 | 8.3107 | 2.1765 | 20.75 |
| 500 | 10.4872 | 8.3873 | 2.0999 | 20.02 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Komparasi antara banjir rancangan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I dengan banjir rancangan cara nilai terukur (empiris) dapat dilihat pada Tabel 3.16 di bawah ini.

Tabel 3.16 Komparasi Banjir Rancangan (Q_{smax})

| Kala Ulang (T) | Q_{smax} (m^3/s) | | Selisih (m^3/s) | Selisih (%) |
|-------------------|------------------------|------------------|------------------------|----------------|
| | HSS Gamma I | Hasil penelitian | | |
| 5 | 76.1795 | 86.8471 | 10.6676 | 16.39 |
| 10 | 90.1288 | 100.8561 | 10.7273 | 13.92 |
| 25 | 105.5009 | 116.1549 | 10.6540 | 11.82 |
| 50 | 115.2541 | 125.9110 | 10.6570 | 10.83 |
| 100 | 124.3158 | 135.0054 | 10.6896 | 10.06 |
| 200 | 132.6609 | 143.1134 | 10.4525 | 9.25 |
| 500 | 142.8709 | 147.8008 | 4.9299 | 3.45 |

Sumber : Hasil pengolahan data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

Hasil yang didapatkan, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Hujan rancangan harian dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun berurutan adalah: 106,5526; 118,6150; 131,4089; 139,5262; 147,0680; 153,7739 dan 161,7862 mm.
2. Sebaran hujan menurut hasil penelitian Sri Harto BR dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun dapat dilihat pada Lampiran 4.
3. Model empiris persamaan indeks Φ dengan variabel bebas tinggi hujan yang didapatkan dari hasil regresi adalah $indeks \Phi = 1,5085 \cdot \ln(R_T) + 0,7147$, dalam tingkat penerimaan tertentu/terbaik dari data tersebut ($R = 0,7846$; $R^2 = 0,5929$; $F = 33,4901$).
4. Nilai indeks Φ dari hasil penelitian dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun berurutan adalah: 7,76; 7,92; 8,07; 8,16; 8,24; 8,31 dan 8,39 mm.
5. Nilai indeks Φ menurut hasil penelitian Sri Harto BR dengan variabel luas DAS (A) dan frekuensi sumber (SN) pada kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun adalah 10,49 mm.
6. Nilai aliran dasar (QB) sebagai komponen dalam analisis banjir rancangan cara HSS Gamma I dan nilai debit rerata tanpa banjir (Q_{bf}) sebagai komponen dalam analisis banjir rancangan nilai terukur (empiris) adalah 4,8749 dan 3 m³/s.
7. Banjir rancangan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun adalah:
 - a. Nilai banjir rancangan cara Hidrograf Satuan Sintetik Gama I berurutan adalah: 79,18; 90,13; 105,50; 115,25; 124,33; 132,66 dan 142,87 m³/s.
 - b. Nilai banjir rancangan dengan indeks Φ hasil dari regresi berurutan adalah: 88,67; 102,68; 117,97; 127,73; 136,83; 144,93 dan 147,80 m³/s.

8. Komparasi antara cara HSS Gamma I dengan nilai terukur (empiris) dalam analisis banjir rancangan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun adalah sebagai berikut:
 - a. Indeks Φ dari hasil regresi dengan variabel tinggi hujan nilainya lebih kecil $\pm 20\%$ sampai dengan 26% dari nilai indeks Φ dari hasil penelitian HSS Gamma I.
 - b. Banjir rancangan dengan indeks Φ yang dipengaruhi tinggi hujan nilainya lebih besar $\pm 3,45\%$ sampai dengan $16,39\%$ dari nilai banjir rancangan cara HSS Gamma I dengan indeks Φ yang dipengaruhi luas DAS dan frekuensi sumber.

4.2 PEMBAHASAN

Memperhatikan siklus hidrologi dapat diamati bahwa debit yang terukur di stasiun hidrometri merupakan debit yang berasal dari empat sumber, yaitu *channel precipitation*, limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow*) dan aliran air tanah (*groundwater flow*). Channel precipitation dianggap tidak begitu berpengaruh terhadap aliran air di sungai. Dalam analisis, aliran air yang terukur di sungai dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu aliran permukaan dan aliran dasar. Aliran dasar dianggap merupakan bagian aliran sungai yang ditimbulkan oleh infiltrasi, sehingga volume aliran dasar tersebut dianggap sama dengan jumlah air yang terinfiltrasi. Dalam kaitan ini terdapat dua pengertian tentang kuantitas infiltrasi, yaitu kapasitas infiltrasi dan laju infiltrasi. Kapasitas infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu, sedangkan laju infiltrasi adalah infiltrasi nyata suatu jenis tanah tertentu.

Hujan yang tidak menjadi aliran permukaan disebut kehilangan hujan. Besarnya kehilangan hujan dinyatakan dengan indeks Φ . Komponen indeks Φ terdiri atas: (1) intersepsi dan tampungan sementara, (2) penguapan selama hujan dan (3) infiltrasi. Komponen indeks Φ yang bersifat penguapan tidak akan memberikan andil terhadap aliran terukur di sungai. Menurut Sri Harto BR (1993), besar laju infiltrasi yang terjadi pada saat terjadinya hujan disebut sebagai indeks Φ . Apabila indeks Φ dipengaruhi oleh besarnya laju infiltrasi maka akan

mengakibatkan didapatkannya nilai hujan efektif yang kurang benar karena besarnya kehilangan hujan tidak hanya dipengaruhi oleh infiltrasi. Intersepsi adalah komponen kehilangan hujan yang besarnya sulit untuk diprediksi. Oleh karena itu, untuk memperkirakan besarnya kehilangan hujan (indeks Φ) yang lebih akurat, diperlukan sumber yang mengakibatkan adanya kehilangan hujan yaitu tinggi hujan sebagai variabel yang berpengaruh terhadap indeks Φ tersebut.

Penelitian dilakukan untuk membahas mengenai nilai indeks Φ berdasarkan karakteristik DAS yaitu luas DAS (A) dan frekuensi sumber (SN) dengan nilai indeks Φ berdasarkan tinggi hujan (R_T) dalam analisis banjir rancangan sebagai pertimbangan bagi perancang dalam pemilihan variabel bebas yang mempengaruhi nilai indeks Φ dalam analisis banjir rancangan. Untuk mendapatkan hubungan antara indeks Φ dengan tinggi hujan, dilakukan analisis regresi *non linier* sehingga diperoleh persamaan indeks Φ dalam bentuk empiris yang nantinya akan dikomparasikan dengan indeks Φ menurut hasil penelitian HSS Gamma I dalam analisis banjir rancangan. Indeks Φ menurut hasil penelitian HSS Gamma I nilainya relatif tetap pada kala ulang yang digunakan, sedangkan nilai indeks Φ dengan variabel bebas tinggi hujan relatif bertambah besar mengikuti bertambahnya kala ulang yang digunakan dalam analisis hujan rancangan.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, penelitian dilakukan pada DAS Code terukur di Pogung untuk mengurangi ketidakseragaman sifat sebaran hujan menurut tempat (*spatial distribution*). Penerapan metode Polygon Thiessen dalam penelitian dengan pengambilan data hujan (tahun 1991 sampai dengan tahun 2005) pada pos-pos stasiun hujan yang jaraknya tidak terlalu jauh dari DAS Code terukur di Pogung, yaitu: Kempud, Angin-angin, Prumpung dan Beran. Debit rerata tanpa banjir didapat dari pembacaan grafik AWLR terukur di stasiun hidrometri Pogung (tahun 2003 sampai dengan tahun 2005) tanpa memisahkan data pada musim hujan dengan data pada musim kering. Oleh karenanya, besarnya debit rerata tanpa banjir diambil dari nilai 80% terhadap selisih nilai tertinggi dengan nilai terendah aliran sungai yang tidak mengakibatkan terjadinya banjir.

Sebelum analisis banjir rancangan, terlebih dahulu diketahui hujan rancangan pada kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200 dan 500 tahun dengan menggunakan sebaran Pearson type III berdasarkan analisis frekuensi. Hujan efektif dalam analisis banjir rancangan adalah selisih dari nilai sebaran hujan dengan nilai indeks Φ . Dari hasil komparasi di atas dapat diamati bahwa semakin kala ulangnya bertambah maka indeks Φ atas dasar tinggi hujan nilainya semakin bertambah, sehingga mengakibatkan pertambahan nilai banjir rancangan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan pertambahan nilai banjir rancangan yang dipengaruhi oleh indeks Φ atas dasar karakteristik DAS karena nilai indeks Φ yang dipengaruhi oleh luas DAS dan frekuensi sumber relatif tetap tanpa terpengaruh oleh adanya pertambahan kala ulang yang digunakan.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari uraian analisis perhitungan di muka dapat dibuat kesimpulan, yaitu:

1. Tinggi hujan (R_T) dapat dijadikan variabel bebas dalam perhitungan indeks Φ sebagai komponen dalam analisis banjir rancangan dengan model empiris (*indeks $\Phi = 1,5085 \cdot \ln(R_T) + 0,7147$*), dalam tingkat penerimaan tertentu/terbaik dari data yang tersedia ($R = 0,7846$; $R^2 = 0,5929$; $F = 33,4901$).
2. Indeks Φ atas dasar fungsi tinggi hujan nilainya lebih kecil $\pm 20\%$ sampai dengan 26% dari nilai indeks Φ dari hasil penelitian HSS Gamma I.
3. Banjir rancangan dengan indeks Φ yang dipengaruhi tinggi hujan nilainya lebih besar $\pm 3,45\%$ sampai dengan $16,39\%$ dari nilai banjir rancangan cara HSS Gamma I dengan indeks Φ yang dipengaruhi luas DAS dan frekuensi sumber.

5.2 SARAN

Adapun saran-saran yang dapat diberikan guna perbaikan dan penyempurnaan serta pengembangan berikutnya, antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Model empiris indeks Φ dari hasil penelitian, lebih kepada perkiraan awal, sehingga untuk mendapatkan hasil perencanaan debit sungai yang lebih akurat, memerlukan penelitian lebih lanjut agar lebih sesuai akibat keragaman sifat klimatologis dan sifat fisik DAS.
2. Perlunya data yang lebih lengkap dan lebih memadai sehingga dapat diketahui model empiris indeks Φ yang lebih teliti dan akurat.
3. Perlunya pengecekan ulang atau koreksi-koreksi atas data curah hujan, data AWLR, data debit, serta karakteristik suatu DAS, agar dalam perhitungan yang dilakukan hasil analisisnya lebih *valid*.

DAFTAR PUSTAKA

Linsley R.K, M.A Kohler, J.L.H Paulhus, 1988, HYDROLOGY FOR ENGINEERS, McGraw-Hill, New York.

Sri Harto Br., 1993, ANALISIS HIDROLOGI, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Sri Harto Br., 1991, HIDROLOGI TERAPAN, Biro Penerit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

E.M.Wilson, 1969, HIDROLOGI TEKNIK, ITB, Bandung.

Cook, H. L., 1946, THE INFILTRATION APPROACH TO THE CALCULATION OF SURFACE RUNOFF, Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 27, no. 5 hal 726-747.

Barnes, B. S., 1959, CONSISTENCY IN UNIGRAPHS, Journal of The Hydraulic Division, ASCE, HY8, 39-60.

Shanin, 1976, STATISTICAL ANALYSIS IN HIDROLOGY , IHE, Delft.

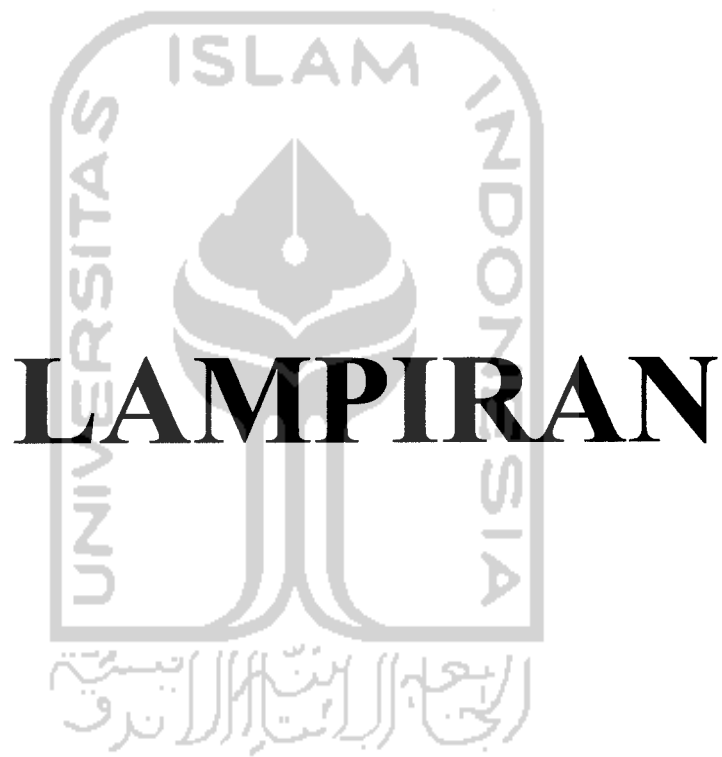
Grant, E. L., and R. S. Leavenworth, 1972, STATISTICAL QUALITY AND CONTROL, McGraw-Hill, New York.

Chow, V.T., D.R. Maidment, L.W.Mays, 1988, APPLIED HYDROLOGY, McGraw-Hill, New York.

Strahler, A. N., 1964, QUANTITATIVE GEOMORPHOLOGY OF DRAINAGE BASIN AND CHANNEL NETWORKS, in Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow (ed.), p.439-4.76, Mc Graw Hill, New York.

Tim penyusun, 1997, REKAYASA HIDROLOGI, Badan Musyawarah Perguruan Tinggi Teknik Sipil Seluruh Indonesia, Yogyakarta.

Gupta, S. N., A. P. Battacharya, and S. R. Jindal, 1967, STATISTICAL CORRELATION OF HIMALAYAN AND BUNDELKHAND BASIN CHARACTERISTICS WITH FLOOD FLOWS, Floods and Their Computations, Proceeding of Leningrad Symposium, Vol. II, p. 874-879, IASH, Unesco, WMO, Geneva.



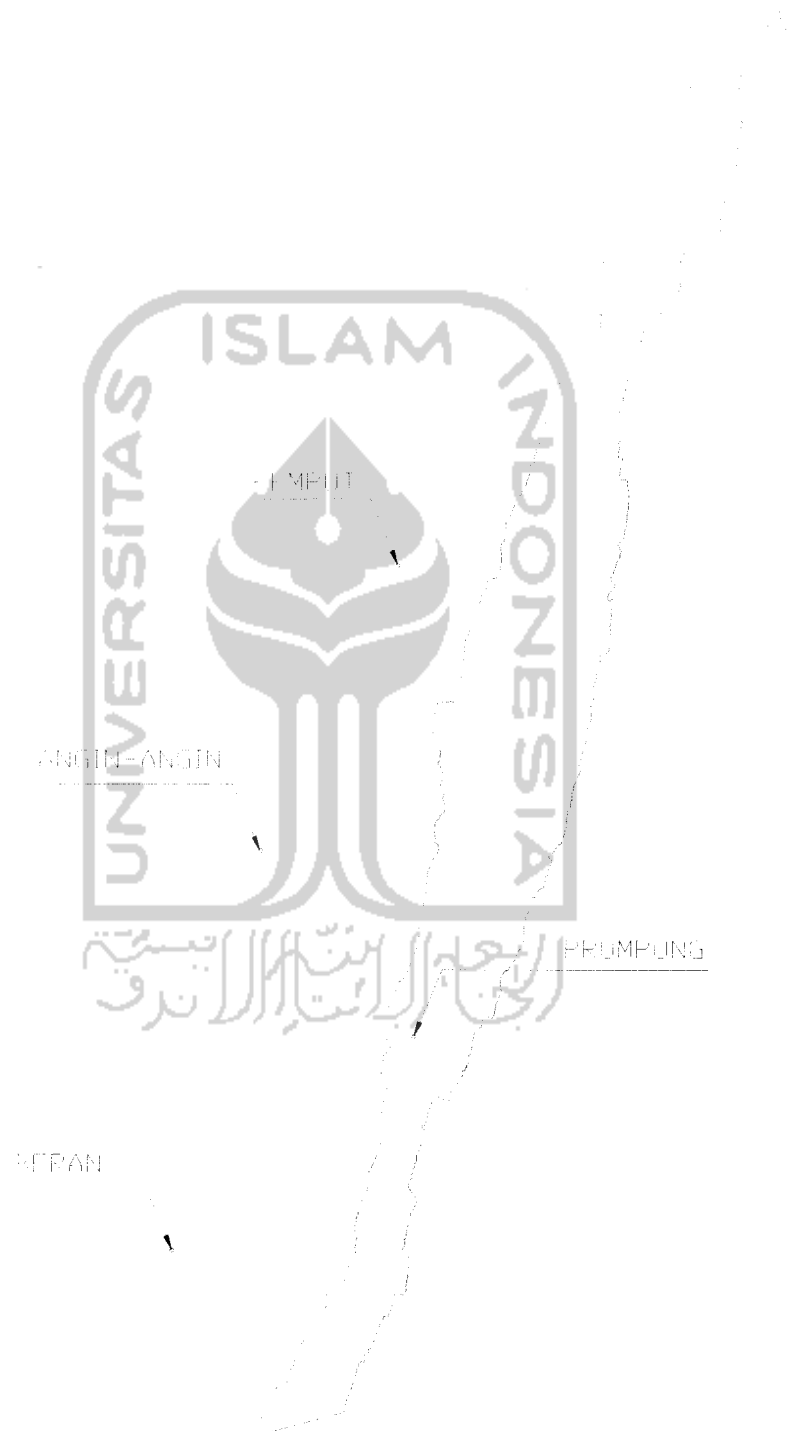
LAMPIRAN

Lampiran: 1

Cumulative Probability of The Standard Normal Distribution

| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| 0.1 | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5754 |
| 0.2 | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| 0.3 | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| 0.4 | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| 0.5 | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| 0.6 | 0.7258 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7518 | 0.7490 |
| 0.7 | 0.7580 | 0.7612 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7704 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 |
| 0.8 | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7996 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 |
| 0.9 | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| 1.0 | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| 1.1 | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 |
| 1.2 | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.9015 |
| 1.3 | 0.9032 | 0.9049 | 0.9066 | 0.9082 | 0.9099 | 0.9115 | 0.9161 | 0.9147 | 0.9162 | 0.9177 |
| 1.4 | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9265 | 0.9279 | 0.9292 | 0.9306 | 0.9319 |
| 1.5 | 0.9332 | 0.9345 | 0.9357 | 0.9370 | 0.9382 | 0.9394 | 0.9406 | 0.9418 | 0.9429 | 0.9441 |
| 1.6 | 0.9452 | 0.9468 | 0.9474 | 0.9484 | 0.9495 | 0.9505 | 0.9515 | 0.9525 | 0.9535 | 0.9545 |
| 1.7 | 0.9554 | 0.9564 | 0.9573 | 0.9582 | 0.9591 | 0.9599 | 0.9608 | 0.9616 | 0.9625 | 0.9633 |
| 1.8 | 0.9641 | 0.9649 | 0.9656 | 0.9664 | 0.9671 | 0.9678 | 0.9686 | 0.9693 | 0.9699 | 0.9706 |
| 1.9 | 0.9713 | 0.9719 | 0.9726 | 0.9732 | 0.9738 | 0.9744 | 0.9750 | 0.9756 | 0.9761 | 0.9767 |
| 2.0 | 0.9772 | 0.9778 | 0.9788 | 0.9788 | 0.9793 | 0.9798 | 0.9803 | 0.9808 | 0.9712 | 0.9817 |
| 2.1 | 0.9821 | 0.9826 | 0.9830 | 0.9834 | 0.9838 | 0.9842 | 0.9846 | 0.9850 | 0.9854 | 0.9857 |
| 2.2 | 0.9861 | 0.9864 | 0.9868 | 0.9871 | 0.9875 | 0.9878 | 0.9881 | 0.9884 | 0.9887 | 0.9890 |
| 2.3 | 0.9898 | 0.9896 | 0.9898 | 0.9901 | 0.9904 | 0.9906 | 0.9909 | 0.9911 | 0.9913 | 0.9916 |
| 2.4 | 0.9918 | 0.9920 | 0.9922 | 0.9925 | 0.9927 | 0.9929 | 0.9931 | 0.9932 | 0.9934 | 0.9986 |
| 2.5 | 0.9938 | 0.9940 | 0.9941 | 0.9943 | 0.9945 | 0.9949 | 0.9948 | 0.9949 | 0.9951 | 0.9952 |
| 2.6 | 0.9953 | 0.9955 | 0.9956 | 0.9957 | 0.9959 | 0.9960 | 0.9961 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9964 |
| 2.7 | 0.9965 | 0.9966 | 0.9967 | 0.9968 | 0.9969 | 0.9970 | 0.9971 | 0.9972 | 0.9973 | 0.9974 |
| 2.8 | 0.9974 | 0.9975 | 0.9976 | 0.9977 | 0.9977 | 0.9978 | 0.9979 | 0.9979 | 0.9980 | 0.9981 |
| 2.9 | 0.9981 | 0.9982 | 0.9982 | 0.9983 | 0.9984 | 0.9984 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9986 | 0.9986 |
| 3.0 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9988 | 0.9988 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9989 | 0.999 | 0.999 |
| 3.1 | 0.999 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9993 | 0.9993 |
| 3.2 | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 |
| 3.3 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9997 |
| 3.4 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9998 |

Sumber: Grant, E. L., and R. S. Leavenworth (1972)



Gambar L-2: Poligon Thiessen DAS Code Terukur Di Pogung

Lampiran: 3

TABEL DEBIT SUNGAI

Nama Sungai : Code
Nama Stasion : Pogung

No. Stasion : 2 81 3 6
No. L. Aliran : 24 4 95

Tahun : 2003
Berlaku : Dari 11-10-93 sampai 21-10-99

| TMA (m) | 0.00 (m³/s) | 0.01 (m³/s) | 0.02 (m³/s) | 0.03 (m³/s) | 0.04 (m³/s) | 0.05 (m³/s) | 0.06 (m³/s) | 0.07 (m³/s) | 0.08 (m³/s) | 0.09 (m³/s) |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0.00 | 0 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.1 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 |
| 0.10 | 0.2 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.3 | 0.32 | 0.34 | 0.36 | 0.38 |
| 0.20 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.65 | 0.7 | 0.75 | 0.8 | 0.85 |
| 0.30 | 0.9 | 0.97 | 1.04 | 1.11 | 1.18 | 1.25 | 1.32 | 1.39 | 1.46 | 1.53 |
| 0.40 | 1.6 | 1.68 | 1.76 | 1.84 | 1.92 | 2 | 2.08 | 2.16 | 2.24 | 2.32 |
| 0.50 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3 | 3.1 | 3.2 | 3.3 |
| 0.60 | 3.4 | 3.51 | 3.62 | 3.73 | 3.84 | 3.95 | 4.06 | 4.17 | 4.28 | 4.39 |
| 0.70 | 4.5 | 4.61 | 4.72 | 4.83 | 4.94 | 5.05 | 5.16 | 5.27 | 5.38 | 5.49 |
| 0.80 | 5.6 | 5.75 | 5.9 | 6.05 | 6.2 | 6.35 | 6.5 | 6.65 | 6.8 | 6.95 |
| 0.90 | 7.1 | 7.29 | 7.48 | 7.67 | 7.86 | 8.05 | 8.24 | 8.43 | 8.62 | 8.81 |
| 1.00 | 9 | 9.2 | 9.4 | 9.6 | 9.8 | 10 | 10.2 | 10.4 | 10.6 | 10.8 |
| 1.10 | 11 | 11.2 | 11.4 | 11.6 | 11.8 | 12 | 12.2 | 12.4 | 12.6 | 12.8 |
| 1.20 | 13 | 13.2 | 13.5 | 13.7 | 14 | 14.2 | 14.4 | 14.7 | 14.9 | 15.2 |
| 1.30 | 15.4 | 15.7 | 15.9 | 16.2 | 16.4 | 16.7 | 17 | 17.2 | 17.5 | 17.7 |
| 1.40 | 18 | 18.3 | 18.6 | 18.9 | 19.2 | 19.5 | 19.8 | 20.1 | 20.4 | 20.7 |
| 1.50 | 21 | 21.3 | 21.6 | 21.9 | 22.2 | 22.5 | 22.8 | 23.1 | 23.4 | 23.7 |
| 1.60 | 24 | 24.3 | 24.7 | 25 | 25.4 | 25.7 | 26.1 | 26.4 | 26.8 | 27.1 |
| 1.70 | 27.5 | 27.8 | 28.2 | 28.5 | 28.9 | 29.2 | 29.6 | 29.9 | 30.3 | 30.6 |
| 1.80 | 31 | 31.4 | 31.7 | 32.1 | 32.4 | 32.8 | 33.2 | 33.5 | 33.9 | 34.2 |
| 1.90 | 34.6 | 35 | 35.4 | 35.7 | 36.1 | 36.5 | 36.9 | 37.3 | 37.6 | 38 |
| 2.00 | 38.4 | 38.8 | 39.2 | 39.6 | 40 | 40.3 | 40.7 | 41.1 | 41.5 | 41.9 |
| 2.10 | 42.3 | 42.7 | 43.1 | 43.5 | 43.9 | 44.2 | 44.6 | 45 | 45.4 | 45.8 |
| 2.20 | 46.2 | 46.6 | 47 | 47.5 | 47.9 | 48.3 | 48.7 | 49.1 | 49.6 | 50 |
| 2.30 | 50.4 | 50.8 | 51.3 | 51.7 | 52.2 | 52.6 | 53 | 53.5 | 53.9 | 54.4 |
| 2.40 | 54.8 | 55.3 | 55.7 | 56.2 | 56.6 | 57.1 | 57.6 | 58 | 58.5 | 58.9 |

Lampiran: 3

| | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 2.50 | 59.4 | 59.9 | 60.3 | 60.8 | 61.2 | 61.7 | 62.2 | 62.6 | 63.1 | 63.5 |
| 2.60 | 64 | 64.5 | 64.9 | 65.4 | 65.8 | 66.3 | 66.8 | 67.2 | 67.7 | 68.1 |
| 2.70 | 68.6 | 69.1 | 69.5 | 70 | 70.4 | 70.9 | 71.4 | 71.8 | 72.3 | 72.7 |
| 2.80 | 73.2 | 73.7 | 74.2 | 74.6 | 75.1 | 75.6 | 76.1 | 76.6 | 77 | 77.5 |
| 2.90 | 78 | 78.5 | 79 | 79.5 | 80 | 80.5 | 81 | 81.5 | 82 | 82.5 |
| 3.00 | 83 | 83.5 | 84 | 84.5 | 85 | 85.5 | 86 | 86.5 | 87 | 87.5 |
| 3.10 | 88 | 88.5 | 89 | 89.5 | 90 | 90.5 | 91 | 91.5 | 92 | 92.5 |
| 3.20 | 93 | 93.5 | 94 | 94.5 | 95 | 95.5 | 96 | 96.5 | 97 | 97.5 |
| 3.30 | 98 | 98.5 | 99 | 99.5 | 100 | 100.5 | 101 | 101 | 102 | 102 |
| 3.40 | 103 | 103 | 104 | 104 | 105 | 105 | 106 | 106 | 107 | 107 |
| 3.50 | 108 | 109 | 109 | 110 | 110 | 111 | 112 | 112 | 113 | 113 |
| 3.60 | 114 | 114 | 115 | 115 | 116 | 116 | 117 | 117 | 118 | 118 |
| 3.70 | 119 | 119 | 120 | 120 | 121 | 121 | 122 | 122 | 123 | 123 |
| 3.80 | 124 | 124 | 125 | 125 | 126 | 126 | 127 | 127 | 128 | 128 |
| 3.90 | 129 | 130 | 130 | 131 | 131 | 132 | 132 | 133 | 133 | 134 |
| 4.00 | 134 | 135 | 136 | 136 | 137 | 137 | 138 | 138 | 139 | 139 |
| 4.10 | 140 | 141 | 141 | 142 | 142 | 143 | 143 | 144 | 144 | 145 |
| 4.20 | 146 | 146 | 147 | 147 | 148 | 148 | 149 | 149 | 150 | 150 |
| 4.30 | 151 | 152 | 152 | 153 | 153 | 154 | 154 | 155 | 155 | 156 |
| 4.40 | 157 | 157 | 158 | 158 | 159 | 159 | 160 | 160 | 161 | 161 |
| 4.50 | 162 | 163 | 163 | 164 | 164 | 165 | 165 | 166 | 166 | 167 |
| 4.60 | 168 | 168 | 169 | 169 | 170 | 170 | 171 | 171 | 172 | 172 |
| 4.70 | 173 | 174 | 174 | 175 | 175 | 176 | 176 | 177 | 177 | 178 |
| 4.80 | 179 | 179 | 180 | 180 | 181 | 181 | 182 | 182 | 183 | 183 |
| 4.90 | 184 | 185 | 185 | 186 | 186 | 187 | 188 | 188 | 189 | 189 |

Sumber: Balai PSDA Wilayah Sungai Progo-Opak-Oyo DIY

Sebaran Hujan Menurut Hasil Penelitian Sri Harto BR

| R₅ = 106.553 mm | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 25.5726 |
| 2 | 26 | 27.7037 |
| 3 | 17 | 18.1139 |
| 4 | 7 | 7.4587 |
| 5 | 5 | 5.3276 |

| R₁₀ = 118.615 mm | | |
|------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 28.4676 |
| 2 | 26 | 30.8399 |
| 3 | 17 | 20.1646 |
| 4 | 7 | 8.3031 |
| 5 | 5 | 5.9308 |

| R₂₅ = 131.409 mm | | |
|------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 31.5381 |
| 2 | 26 | 34.1663 |
| 3 | 17 | 22.3395 |
| 4 | 7 | 9.1986 |
| 5 | 5 | 6.5704 |

| R₅₀ = 139.526 mm | | |
|------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 33.4863 |
| 2 | 26 | 36.2768 |
| 3 | 17 | 23.7195 |
| 4 | 7 | 9.7668 |
| 5 | 5 | 6.9763 |

| R₁₀₀ = 147.068 mm | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 35.2963 |
| 2 | 26 | 38.2377 |
| 3 | 17 | 25.0016 |
| 4 | 7 | 10.2948 |
| 5 | 5 | 7.3534 |

| R₂₀₀ = 153.774 mm | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 36.9057 |
| 2 | 26 | 39.9812 |
| 3 | 17 | 26.1416 |
| 4 | 7 | 10.7642 |
| 5 | 5 | 7.6887 |

| R₅₀₀ = 161.786 mm | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| Jam ke | % | Ri |
| 1 | 24 | 38.8287 |
| 2 | 26 | 42.0644 |
| 3 | 17 | 27.5036 |
| 4 | 7 | 11.3250 |
| 5 | 5 | 8.0893 |

**BANJIR RANCANGAN CARA HSS GAMMA I
UNTUK SETIAP KALA ULANG (5, 10, 25, 50, 100, 200 DAN 500 TAHUN)**

$R_T = R_5$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 10.487 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 4.8749 | 4.8749 |
| 1 | 25.5726 | 10.487 | 15.0854 | 1.0396 | 15.6829 | 0 | - | 15.6829 | 4.8749 | 20.5577 |
| 2 | 27.7037 | 10.487 | 17.2164 | 2.0792 | 31.3657 | 17.8983 | 0 | 49.2640 | 4.8749 | 54.1389 |
| 3 | 18.1139 | 10.487 | 7.6267 | 1.8282 | 27.5792 | 35.7966 | 7.9288 | 71.3046 | 4.8749 | 76.1795 |
| 4 | 7.4587 | 10.487 | 0 | 1.5530 | 23.4279 | 31.4752 | 15.8575 | 70.7607 | 4.8749 | 75.6356 |
| 5 | 5.3276 | 10.487 | 0 | 1.3193 | 19.9015 | 26.7375 | 13.9432 | 60.5822 | 4.8749 | 65.4571 |

Didapat : Q_{max} = 76.1795 m³/s

$R_T = R_{10}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 4.8748897 | 4.8749 |
| 1 | 28.4676 | 10.4872 | 17.9804 | 1.0396 | 18.6925 | 0 | - | 18.6925 | 4.8748897 | 23.5674 |
| 2 | 30.8399 | 10.4872 | 20.3527 | 2.0792 | 37.3850 | 21.1587 | 0 | 58.5437 | 4.8748897 | 63.4186 |
| 3 | 20.1646 | 10.4872 | 9.6773 | 1.8282 | 32.8718 | 42.3175 | 10.0606 | 85.2499 | 4.8748897 | 90.1248 |
| 4 | 8.3031 | 10.4872 | 0 | 1.5530 | 27.9239 | 37.2089 | 20.1212 | 85.2539 | 4.8748897 | 90.1288 |
| 5 | 5.9308 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 23.7207 | 31.6081 | 17.6921 | 73.0209 | 4.8748897 | 77.8958 |

Didapat : $Q_{max} = 90.1288 \text{ m}^3/\text{s}$

$R_T = R_{25}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 4.8749 | 4.8749 |
| 1 | 31.5381 | 10.4872 | 21.0509 | 1.0396 | 21.8846 | 0 | - | 21.8846 | 4.8749 | 26.7595 |
| 2 | 34.1663 | 10.4872 | 23.6791 | 2.0792 | 43.7692 | 24.6169 | 0 | 68.3861 | 4.8749 | 73.2610 |
| 3 | 22.3395 | 10.4872 | 11.8523 | 1.8282 | 38.4854 | 49.2338 | 12.3217 | 100.0408 | 4.8749 | 104.9157 |
| 4 | 9.1986 | 10.4872 | 0 | 1.5530 | 32.6925 | 43.2902 | 24.6434 | 100.6260 | 4.8749 | 105.5009 |
| 5 | 6.5704 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 27.7715 | 36.7741 | 21.6684 | 86.2140 | 4.8749 | 91.0889 |

Didapat : $Q_{max} = 105.5009 \text{ m}^3/\text{s}$

$R_T = R_{50}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 4.8749 | 4.8749 |
| 1 | 33.4863 | 10.4872 | 22.9991 | 1.0396 | 23.9099 | 0 | - | 23.9099 | 4.8749 | 28.7848 |
| 2 | 36.2768 | 10.4872 | 25.7896 | 2.0792 | 47.8199 | 26.8110 | 0 | 74.6309 | 4.8749 | 79.5058 |
| 3 | 23.7195 | 10.4872 | 13.2322 | 1.8282 | 42.0470 | 53.6220 | 13.7563 | 109.4252 | 4.8749 | 114.3001 |
| 4 | 9.7668 | 10.4872 | 0 | 1.5530 | 35.7180 | 47.1486 | 27.5126 | 110.3792 | 4.8749 | 115.2541 |
| 5 | 6.9763 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 30.3416 | 40.0517 | 24.1912 | 94.5846 | 4.8749 | 99.4595 |

Didapat : Q_{max} = 115.2541 m³/s

$R_T = R_{100}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 4.8748897 | 4.8749 |
| 1 | 35.2963 | 10.4872 | 24.8091 | 1.0396 | 25.7917 | 0 | - | 25.7917 | 4.8748897 | 30.6666 |
| 2 | 38.2377 | 10.4872 | 27.7505 | 2.0792 | 51.5833 | 28.8495 | 0 | 80.4329 | 4.8748897 | 85.3078 |
| 3 | 25.0016 | 10.4872 | 14.5143 | 1.8282 | 45.3561 | 57.6990 | 15.0892 | 118.1443 | 4.8748897 | 123.0192 |
| 4 | 10.2948 | 10.4872 | 0 | 1.5530 | 38.5290 | 50.7335 | 30.1784 | 119.4409 | 4.8748897 | 124.3158 |
| 5 | 7.3534 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 32.7295 | 43.0970 | 26.5352 | 102.3617 | 4.8748897 | 107.2366 |

Didapat : Q_{max} = 124.3158 m³/s

$R_T = R_{200}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 4.8749 | 4.8749 |
| 1 | 36.9057 | 10.4872 | 26.4185 | 1.0396 | 27.4648 | 0 | - | - | 27.4648 | 4.8749 | 32.3397 |
| 2 | 39.9812 | 10.4872 | 29.4940 | 2.0792 | 54.9296 | 30.6621 | 0 | - | 85.5917 | 4.8749 | 90.4666 |
| 3 | 26.1416 | 10.4872 | 15.6543 | 1.8282 | 48.2984 | 61.3242 | 16.2743 | 0 | 125.8969 | 4.8749 | 130.7718 |
| 4 | 10.7642 | 10.4872 | 0.2769 | 1.5530 | 41.0284 | 53.9210 | 32.5486 | 0.2879 | 127.7860 | 4.8749 | 132.6609 |
| 5 | 7.6887 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 34.8528 | 45.8047 | 28.6193 | 0.5758 | 109.8526 | 4.8749 | 114.7275 |

Didapat : $Q_{max} = 132.6609$ m³/s

$R_T = R_{500}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | Q _{II} (m ³ /s) | Q _{bf} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 10.4872 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 4.8749 | 4.8749 |
| 1 | 38.8287 | 10.4872 | 28.3414 | 1.0396 | 29.4639 | 0 | - | - | 29.4639 | 4.8749 | 34.3388 |
| 2 | 42.0644 | 10.4872 | 31.5772 | 2.0792 | 58.9278 | 32.8278 | 0 | - | 91.7556 | 4.8749 | 96.6305 |
| 3 | 27.5036 | 10.4872 | 17.0164 | 1.8282 | 51.8140 | 65.6556 | 17.6904 | 0 | 135.1599 | 4.8749 | 140.0348 |
| 4 | 11.3250 | 10.4872 | 0.8378 | 1.5530 | 44.0148 | 57.7295 | 35.3807 | 0.8710 | 137.9960 | 4.8749 | 142.8709 |
| 5 | 8.0893 | 10.4872 | 0 | 1.3193 | 37.3896 | 49.0400 | 31.1095 | 1.7420 | 119.2810 | 4.8749 | 124.1559 |

Didapat : $Q_{max} = 142.8709$ m³/s

**BANJIR RANCANGAN DENGAN INDEKS Φ ATAS DASAR FUNGSI TINGGI HUJAN
UNTUK SETIAP KALA ULANG (5, 10, 25, 50, 100, 200 DAN 500 TAHUN)**

$R_T = R_5 = 106.553 \text{ mm}$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | ΣQ_{LL} (m ³ /s) | Qbf rerata (m ³ /s) | Qsungai (m ³ /s) |
|------------|------------|----------------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | | | |
| 0 | 0 | 7.7573 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 25.5726 | 7.7573 | 17.8153 | 1.0396 | 18.5209 | 0 | - | 18.5209 | 3.00 | 21.5209 |
| 2 | 27.7037 | 7.7573 | 19.9463 | 2.0792 | 37.0417 | 20.7363 | 0 | 57.7781 | 3.00 | 60.7781 |
| 3 | 18.1139 | 7.7573 | 10.3566 | 1.8282 | 32.5700 | 41.4726 | 10.7668 | 84.8094 | 3.00 | 87.8094 |
| 4 | 7.4587 | 7.7573 | 0 | 1.5530 | 27.6675 | 36.4660 | 21.5336 | 85.6671 | 3.00 | 88.6671 |
| 5 | 5.3276 | 7.7573 | 0 | 1.3193 | 23.5029 | 30.9771 | 18.9340 | 73.4140 | 3.00 | 76.4140 |

Didapat : **Q_{max} = 88.6671 m³/s**

$$R_T = R_{10} = 118.615 \text{ mm}$$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf rerata} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 7.9191 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 28.4676 | 7.9191 | 20.5485 | 1.0396 | 21.3623 | 0 | - | - | 21.3623 | 3.00 | 24.3623 |
| 2 | 30.8399 | 7.9191 | 22.9208 | 2.0792 | 42.7246 | 23.8286 | 0 | - | 66.5532 | 3.00 | 69.5532 |
| 3 | 20.1646 | 7.9191 | 12.2454 | 1.8282 | 37.5668 | 47.6571 | 12.7304 | 0 | 97.9544 | 3.00 | 100.9544 |
| 4 | 8.3031 | 7.9191 | 0.3839 | 1.5530 | 31.9122 | 41.9039 | 25.4608 | 0.3991 | 99.6761 | 3.00 | 102.6761 |
| 5 | 5.9308 | 7.9191 | 0 | 1.3193 | 27.1087 | 35.5964 | 22.3872 | 0.7983 | 85.8906 | 3.00 | 88.8906 |

Didapat : $Q_{max} = 102.6761 \text{ m}^3/\text{s}$

$$R_T = R_{25} = 131.409 \text{ mm}$$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf rerata} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 8.0736 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 31.5381 | 8.0736 | 23.4645 | 1.0396 | 24.3938 | 0 | - | - | 24.3938 | 3.00 | 27.3938 |
| 2 | 34.1663 | 8.0736 | 26.0927 | 2.0792 | 48.7876 | 27.1261 | 0 | - | 75.9137 | 3.00 | 78.9137 |
| 3 | 22.3395 | 8.0736 | 14.2659 | 1.8282 | 42.8979 | 54.2522 | 14.8309 | 0 | 111.9810 | 3.00 | 114.9810 |
| 4 | 9.1986 | 8.0736 | 1.1250 | 1.5530 | 36.4408 | 47.7028 | 29.6618 | 1.1695 | 114.9749 | 3.00 | 117.9749 |
| 5 | 6.5704 | 8.0736 | 0 | 1.3193 | 30.9557 | 40.5224 | 26.0809 | 2.3391 | 99.8981 | 3.00 | 102.8981 |

Didapat : $Q_{max} = 117.9749 \text{ m}^3/\text{s}$

$$R_T = R_{50} = 139.526 \text{ mm}$$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf rerata} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 8.1641 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 33.4863 | 8.1641 | 25.3222 | 1.0396 | 26.3251 | 0 | - | - | 26.3251 | 3.00 | 29.3251 |
| 2 | 36.2768 | 8.1641 | 28.1128 | 2.0792 | 52.6503 | 29.2262 | 0 | - | 81.8764 | 3.00 | 84.8764 |
| 3 | 23.7195 | 8.1641 | 15.5554 | 1.8282 | 46.2942 | 58.4524 | 16.1715 | 0 | 120.9181 | 3.00 | 123.9181 |
| 4 | 9.7668 | 8.1641 | 1.6028 | 1.5530 | 39.3259 | 51.3959 | 32.3430 | 1.6663 | 124.7310 | 3.00 | 127.7310 |
| 5 | 6.9763 | 8.1641 | 0 | 1.3193 | 33.4065 | 43.6597 | 28.4385 | 3.3325 | 108.8372 | 3.00 | 111.8372 |

Didapat : $Q_{max} = 127.7310 \text{ m}^3/\text{s}$

$$R_T = R_{100} = 147.068 \text{ mm}$$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf rerata} (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 8.2435 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 35.2963 | 8.2435 | 27.0529 | 1.0396 | 28.1243 | 0 | - | - | 28.1243 | 3.00 | 31.1243 |
| 2 | 38.2377 | 8.2435 | 29.9942 | 2.0792 | 56.2486 | 31.1822 | 0 | - | 87.4308 | 3.00 | 90.4308 |
| 3 | 25.0016 | 8.2435 | 16.7581 | 1.8282 | 49.4582 | 62.3643 | 17.4218 | 0 | 129.2443 | 3.00 | 132.2443 |
| 4 | 10.2948 | 8.2435 | 2.0513 | 1.5530 | 42.0136 | 54.8356 | 34.8436 | 2.1325 | 133.8254 | 3.00 | 136.8254 |
| 5 | 7.3534 | 8.2435 | 0 | 1.3193 | 35.6897 | 46.5816 | 30.6373 | 4.2651 | 117.1736 | 3.00 | 120.1736 |

Didapat : $Q_{max} = 136.8254 \text{ m}^3/\text{s}$

$$R_T = R_{200} = 153.774 \text{ mm}$$

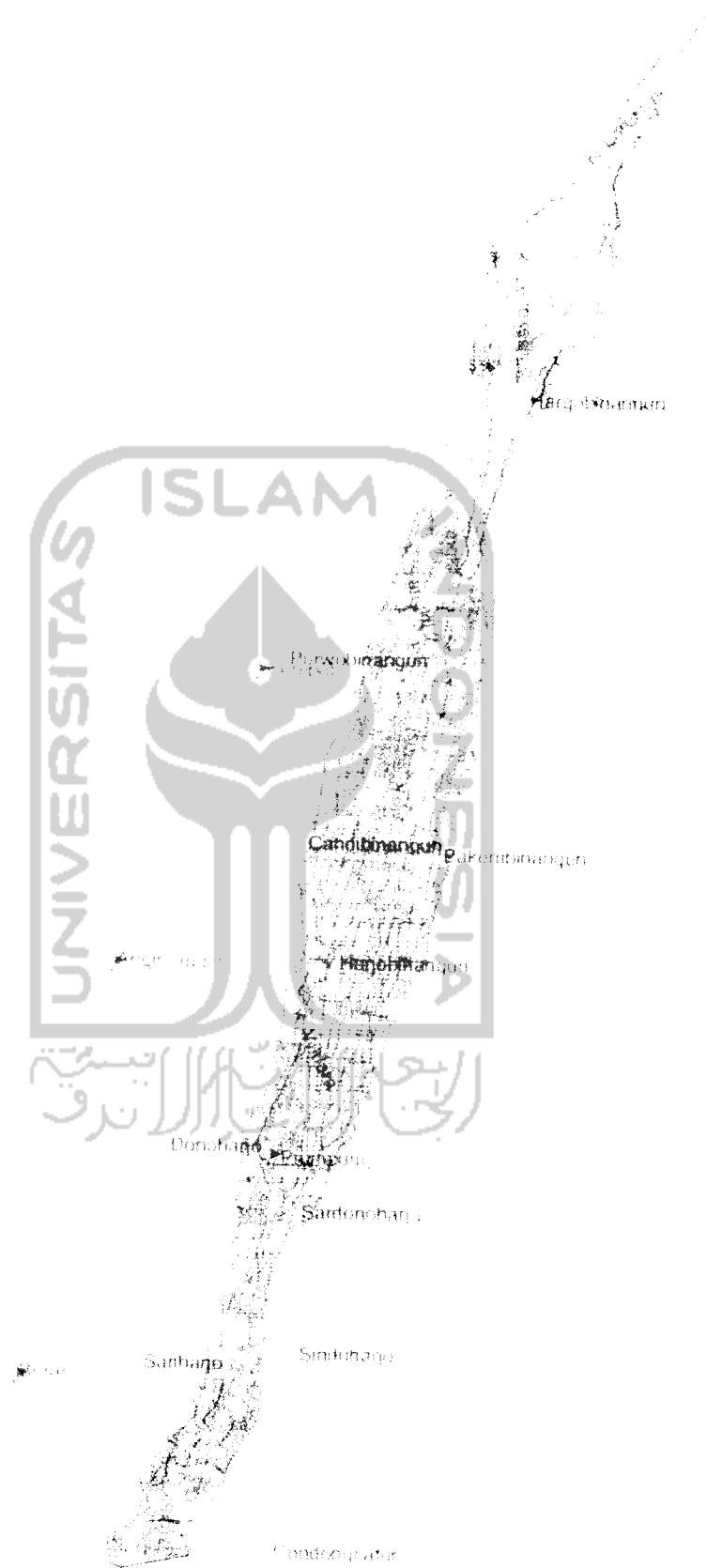
| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf} rerata (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 8.3107 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 36.9057 | 8.3107 | 28.5950 | 1.0396 | 29.7275 | 0 | - | - | 29.7275 | 3.00 | 32.7275 |
| 2 | 39.9812 | 8.3107 | 31.6705 | 2.0792 | 59.4550 | 32.9248 | 0 | - | 92.3798 | 3.00 | 95.3798 |
| 3 | 26.1416 | 8.3107 | 17.8308 | 1.8282 | 52.2775 | 65.8496 | 18.5370 | 0 | 136.6642 | 3.00 | 139.6642 |
| 4 | 10.7642 | 8.3107 | 2.4534 | 1.5530 | 44.4086 | 57.9001 | 37.0741 | 2.5506 | 141.9334 | 3.00 | 144.9334 |
| 5 | 7.6887 | 8.3107 | 0 | 1.3193 | 37.7241 | 49.1849 | 32.5984 | 5.1012 | 124.6087 | 3.00 | 127.6087 |

Didapat : $Q_{max} = 144.9334 \text{ m}^3/\text{s}$

$$R_T = R_{500} = 161.79 \text{ mm}$$

| T (jam) | Ri (mm) | Φ (mm) | He (mm) | Ordinat HSS | Q _{LL} | | | | ΣQ _{LL} (m ³ /s) | Q _{bf} rerata (m ³ /s) | Q _{sungai} (m ³ /s) |
|------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|--|
| | | | | | Q _{LL1} | Q _{LL2} | Q _{LL3} | Q _{LL4} | | | |
| 0 | 0 | 8.3873 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 3.00 | 3.0000 |
| 1 | 38.8287 | 8.3873 | 30.4413 | 1.0396 | 31.6470 | 0 | - | - | 31.6470 | 3.00 | 34.6470 |
| 2 | 42.0644 | 8.3873 | 33.6771 | 2.0792 | 63.2939 | 32.9248 | 0 | - | 96.2187 | 3.00 | 99.2187 |
| 3 | 27.5036 | 8.3873 | 19.1163 | 1.8282 | 55.6530 | 65.8496 | 18.5370 | 0 | 140.0396 | 3.00 | 143.0396 |
| 4 | 11.3250 | 8.3873 | 2.9377 | 1.5530 | 47.2760 | 57.9001 | 37.0741 | 2.5506 | 144.8008 | 3.00 | 147.8008 |
| 5 | 8.0893 | 8.3873 | 0 | 1.3193 | 40.1599 | 49.1849 | 32.5984 | 5.1012 | 127.0444 | 3.00 | 130.0444 |

Didapat : $Q_{max} = 147.8008 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar L-7: DAS Code Terukur Di Pogung