



Palang
Merah
Indonesia



LAPORAN AKHIR

“Pengembangan Model Perhitungan Waktu Tempuh Kejadian Hujan Menjadi Aliran Air di Sungai Ciliwung”

Pengembangan Model Perhitungan Waktu Tempuh Kejadian Hujan Menjadi Aliran Air di Sungai Ciliwung

Penulis:

Perdinan

Rizki Abdul Basit

Ryco Farysca Adi

Enggar Yustisi Arini

Rendy Prihansyah

Yusuf Al Muqaddami

Salis Deris Artikanur

Claudia Chikita Baskoro

Nara Sumber:

Bambang Dwi Dasanto

BPDAS Ciliwung-Cisadane

BBWS Ciliwung-Citarum

Project:

IFRC - PMI

2018



Ringkasan Eksekutif

Pengembangan Model Perhitungan Waktu Tempuh Kejadian Hujan

Menjadi Aliran Air di Sungai Ciliwung

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering kali mengancam dan mengganggu aktivitas manusia. Peristiwa ini terjadi saat aliran air yang berlebihan merendam daratan sehingga terjadi genangan. Salah satu penyebabnya adalah curah hujan dengan intensitas dan frekuensi yang tinggi dalam beberapa hari yang mengakibatkan wilayah resapan air dan sungai tidak mampu menampung dan mengalirkan air dengan baik. Sehingga air sungai meluap dan menyebabkan banjir di daratan. DAS Ciliwung merupakan salah satu sungai yang sering dikaitkan dengan peristiwa banjir. Hal tersebut dibuktikan dengan banjir yang terjadi di wilayah hilir DAS Ciliwung, yaitu wilayah Jakarta. Biasanya banjir di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang, sedangkan di bagian hulu arus banjirnya cenderung deras (karena agak curam) dan daya gerusnya besar tetapi durasinya pendek (Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto 2001 dalam Zamroni *et al* 2015). Berdasarkan data DIBI-BNPB (2018), jumlah kejadian banjir di DKI Jakarta selama tahun 2008 hingga 2017 terjadi 150 kali dengan jumlah setiap tahunnya beragam. Banjir paling sering terjadi saat tahun 2016 sebanyak 36 kali dan saat tahun 2013 sebanyak 26 kali.

Perlu adanya penanggulangan banjir di DAS Ciliwung, salah satunya dengan memberikan informasi melalui sistem peringatan dini banjir. Informasi tentang TMA dapat digunakan untuk menentukan status siaga debit aliran suatu sungai. TMA ditentukan berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung di tempat dalam selang waktu tertentu. Hanya saja, informasi yang disampaikan hanya nilai aktual, perubahan dan status siaga dari TMA saja. Pengembangan informasi TMA untuk informasi dini banjir perlu dilakukan lagi untuk memberikan informasi yang lebih baik dalam sistem peringatan dini banjir. Kebanyakan sistem peringatan dini banjir menggunakan basis TMA yang mana ini hanya bisa menentukan status siaga tinggi air pada saat itu. Curah hujan dapat digunakan untuk menentukan TMA yang sudah terjadi maupun yang akan terjadi. Curah hujan yang jatuh, mengalir dari Hulu ke Hilir sungai dapat ditentukan pula waktu alirannya dengan melibatkan beberapa faktor lain, seperti panjang dan lebar sungai. Perhitungan matematis sederhana memungkinkan dari curah hujan akan didapatkan informasi waktu tempuh air dari hulu ke hilir. Hal tersebut dapat menjadikan informasi yang akurat akan kapan terjadinya banjir dari hulu sampai ke hilir.

DAS Ciliwung merupakan DAS yang melewati dua provinsi, yaitu Jawa Barat dan Jakarta dengan sebagian besar sumber mata airnya dari Gunung Gede Pangrango, Bogor. DAS Ciliwung terbagi menjadi tiga bagian, yaitu hulu, tengah dan hilir. Masing-masing bagian tersebut memiliki perbedaan karena berada pada ketinggian yang berbeda. Bagian Hilir sungai seringkali menjadi tempat terjadinya bencana hidrologis yang paling sering terjadi. Jakarta yang menjadi bagian dari Ciliwung bagian hilir sudah menjadi langganan banjir setiap tahunnya. Penyebab banjir Jakarta adalah meluapnya air sungai akibat sering terjadinya hujan musiman yang lebat dari wilayah hulu hingga hilir.

Daftar Singkatan

AMC	: <i>Antecedent Moisture Condition</i>
BBWS	: Balai Besar Wilayah Sungai
BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BNPB	: Badan Nasional Penanggulangan Bencana
BPDAS	: Badan Pengelola Daerah Aliran Sungai
BT	: Bujur Timur
CH	: Curah Hujan
CHIRPS	: <i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data</i>
CN	: <i>Curve Number</i> / Bilangan Kurva
DAS	: Daerah Aliran Sungai
DIBI	: Data Indeks Bencana Indonesia
HEC-HMS	: <i>Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System</i>
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
LS	: Lintang Selatan
LSM	: Lembaga Swadaya Masyarakat
MODIS	: <i>Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NCRS	: <i>Natural Resources Conservation Service</i>
PCA	: <i>Principal Component Analysis</i>
SCS	: <i>Soil Conservation Service</i>
TMA	: Tinggi Muka Air
USDA	: <i>United States Department of Agriculture</i>
ZOM	: Zona Musim

Glosarium

Banjir	: Peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat
Curah Hujan Wilayah	: Curah hujan dalam suatu luasan wilayah tertentu
Curah Hujan	: Ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir.
<i>Curve Number</i>	: <i>Curve number</i> atau bilangan kurva adalah indeks yang menggambarkan kemampuan suatu permukaan lahan dalam menerima hujan, kombinasi dari kelompok hidrologi tanah dan klasifikasi penggunaan lahan
Daerah Aliran Sungai	: Suatu wilayah yang dibatasi oleh punggung- punggung bukit yang menampung air hujan dan mengalirkannya melalui saluran air, dan kemudian berkumpul menuju suatu muara sungai, laut, danau atau waduk.
Debit	: Sejumlah besar volume air yang mengalir melalui luas penampang melintang tertentu.
Kecepatan Aliran	: Besarnya jarak yang ditempuh oleh air tiap satuan waktu dalam suatu penampang melintang tertentu
Koefisien Limpasan	: Nisbah antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan
Outlet	: Stasiun pengukuran parameter hidrologi
Retensi Tanah	: Penyimpanan atau daya tampung air dalam tanah
Tinggi Muka Air	: Elevasi permukaan air (water level) pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu titik tetap yang elevasinya telah diketahui.
<i>Travel Time</i>	: <i>Travel time</i> atau waktu tempuh adalah durasi atau jumlah waktu yang dibutuhkan oleh air untuk bergerak dari satu titik lokasi ke titik lokasi lainnya
Tutupan Lahan	: Material fisik di permukaan bumi seperti pohon, tanah kosong, dll
Zonasi Iklim	: Pengelompokan suatu wilayah berdasarkan pola iklim yang sama

Kata Pengantar

Daftar Isi

Ringkasan Eksekutif	3
Daftar Singkatan	4
Glosarium.....	5
Kata Pengantar	6
Daftar Isi	7
Daftar Gambar	8
Daftar Tabel	8
BAB 1 Latar Belakang.....	9
Tujuan	11
Ruang Lingkup.....	11
BAB 2 Karakteristik Wilayah Studi.....	12
Aksi Pemerintah Dalam Menangani Banjir Jakarta	14
Aksi Masyarakat, Komunitas, dan LSM Dalam Menangani Banjir Jakarta	15
Ketersediaan Data DAS Ciliwung Dari Berbagai Instansi Pemerintah Terkait.....	16
BAB 3 Kontribusi Curah Hujan Wilayah Terhadap Debit Aliran Dan Tinggi Muka Air	17
Analisis Curah Hujan Wilayah	17
Analisis Klaster Zonasi Iklim	18
Zonasi Iklim Berdasarkan data CHIRPS (1986 – 2015).....	19
Zonasi Iklim Berdasarkan data WorldClim (1971 – 2000).....	20
Kontribusi curah hujan terhadap debit aliran.....	21
BAB 4 Metode Pengembangan Waktu Tempuh.....	23
Metode-Metode Penentuan Waktu Tempuh	23
Metode Energi Mekanik.....	23
Metode Travel Time	24
Metode Velocity (NCRS).....	25
Pengembangan Model Waktu Tempuh.....	25
Hubungan Debit dengan Curah Hujan	25
Hubungan Kecepatan Aliran Dengan Debit.....	26
Hubungan Debit dengan Curah Hujan dipengaruhi Retensi Tanah	27
Model Waktu Tempuh Dinamis.....	29
BAB 5 Kajian Waktu Tempuh Ke Wilayah Rentan Kejadian Banjir.....	31
Pemodelan Debit DAS Ciliwung Berdasarkan Curah Hujan.....	31
Kalibrasi Pemodelan Debit DAS Ciliwung Berdasarkan Curah Hujan	33
Pemodelan Waktu Tempuh Air DAS Ciliwung.....	34

Pengembangan Sistem Perhitungan Waktu Tempuh Air DAS Ciliwung	35
Daftar Pustaka.....	37
Lampiran 1 Survei Lapang Kondisi Outlet	38
1. Hasil Survei Lapang.....	38
2. Dokumentasi Survei Lapang.....	38

Daftar Gambar

Gambar 1 Wilayah rawan banjir provinsi DKI Jakarta (sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah-BPBD, DKI Jakarta).....	10
Gambar 2 Informasi peringatan dini website Posko Banjir Online, Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta	11
Gambar 3 Poligon Thiessen Stasiun Curah Hujan DAS Ciliwung	17
Gambar 4 Peta zonasi musim (ZOM) BMKG untuk wilayah DAS Ciliwung.....	18
Gambar 5 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim BMKG wilayah DAS Ciliwung	19
Gambar 6 Zonasi iklim berdasarkan data CHIRPS.....	20
Gambar 7 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim CHIRPS wilayah DAS Ciliwung	20
Gambar 8 Zonasi iklim berdasarkan data WorldClim	21
Gambar 9 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim WorldClim wilayah DAS Ciliwung...	21
Gambar 10 Tampilan aplikasi website untuk memasukkan nilai Curah hujan dan TMA	35
Gambar 11 Hasil luaran aplikasi website berupa grafik nilai Volume air, Tinggi Muka air dan Debit	36
Gambar 12 Hasil luaran aplikasi website berupa tabel nilai Volume air, Tinggi Muka air dan Debit .	36
Gambar 13 Hasil luaran aplikasi website berupa waktu tempuh dari hulu hingga hilir	37

Daftar Tabel

Tabel 1 Jumlah kejadian dan korban banjir di Jakarta tahun 2008-2017	9
Tabel 2 Karakteristik DAS Ciliwung.....	12
Tabel 3 Wilayah Terdampak Bencana Banjir DAS Ciliwung Wilayah Jakarta (10 Tahun terakhir) ...	13
Tabel 4 Aksi-aksi yang telah dilakukan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta	14
Tabel 5 Ketersediaan data DAS Ciliwung dari berbagai instansi pemerintah	16
Tabel 6 Luas poligon thiessen untuk masing-masing stasiun curah hujan	18
Tabel 7 Hasil perhitungan waktu tempuh berdasarkan persamaan Energi Mekanik	23
Tabel 8 Persamaan kecepatan aliran berdasarkan jenis tutupan lahan.....	24
Tabel 9 Hasil perhitungan waktu tempuh dihitung berdasarkan persamaan waktu tempuh NRCS.....	24
Tabel 10 Hasil perhitungan waktu tempuh dihitung berdasarkan persamaan velocity	25
Tabel 11 Nilai koefisien limpasan berdasarkan jenis tutupan lahan	26
Tabel 12 Nilai CN untuk jenis tutupan lahan berupa lahan pertanian	27
Tabel 13 Nilai CN untuk jenis tutupan lahan berupa hutan	28
Tabel 14 Nilai CN untuk tutupan lahan berupa Perkotaan	28
Tabel 15 Luas DAS, jenis tutupan lahan dan nilai koefisien limpasan DAS Ciliwung	31
Tabel 16 Debit DAS Ciliwung Hasil Pemodelan.....	32
Tabel 17 Debit DAS Ciliwung Hasil Pemodelan Perangkat Lunak HEC-HMS.....	32
Tabel 18 Plot hasil perhitungan debit berdasarkan pemodelan dan perangkat lunak HEC-HMS	33
Tabel 19 Persamaan regresi linier untuk kalibrasi hasil perhitungan debit model berdasarkan hasil perhitungan perangkat lunak HEC-HMS	34
Tabel 20 Perhitungan waktu tempuh DAS Ciliwung dari hulu hingga hilir berdasarkan beberapa skenario kejadian curah hujan.....	34

BAB 1 Latar Belakang

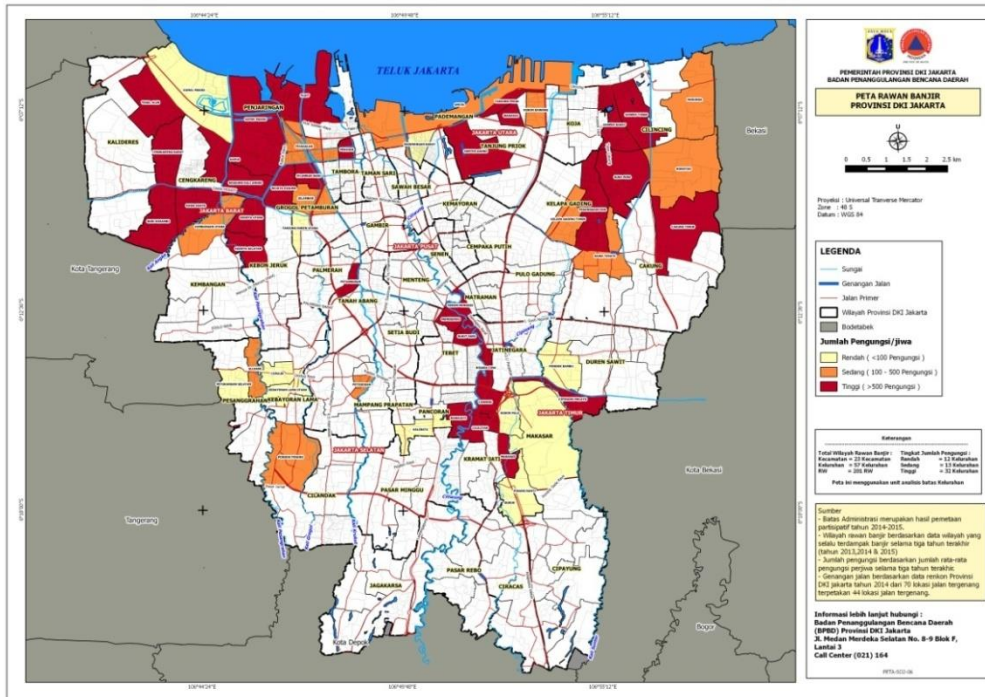
Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering kali mengancam dan mengganggu aktivitas manusia. Peristiwa ini terjadi saat aliran air yang berlebihan merendam daratan sehingga terjadi genangan. Salah satu penyebabnya adalah curah hujan dengan intensitas dan frekuensi yang tinggi dalam beberapa hari yang mengakibatkan wilayah resapan air dan sungai tidak mampu menampung dan mengalirkan air dengan baik. Sehingga air sungai meluap dan menyebabkan banjir di daratan.

DAS Ciliwung merupakan salah satu sungai yang sering dikaitkan dengan peristiwa banjir. Hal tersebut dibuktikan dengan banjir yang terjadi di wilayah hilir DAS Ciliwung, yaitu wilayah Jakarta. Biasanya banjir di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang, sedangkan di bagian hulu arus banjirnya cenderung deras (karena agak curam) dan daya gerusnya besar tetapi durasinya pendek (Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto 2001 dalam Zamroni *et al* 2015). Jakarta menjadi wilayah yang sering terkena banjir karena 40% wilayahnya lebih rendah dari permukaan laut. Selain itu, saluran drainase yang tidak layak, berkurangnya daerah resapan air, minimnya kesadaran masyarakat untuk menjaga kebersihan lingkungan menyebabkan kejadian banjir semakin sering terjadi. Kerusakan lingkungan wilayah hulu yang merupakan daerah tangkapan air menjadikan Jakarta semakin rawan akan terjadinya banjir. Menurut DIBI-BNPB (2018), jumlah kejadian banjir selama tahun 2008 hingga 2017 sudah terjadi sebanyak 150 kali dengan jumlah setiap tahunnya beragam. Banjir paling sering terjadi saat tahun 2016 sebanyak 36 kali dan saat tahun 2013 sebanyak 26 kali.

Tabel 1 Jumlah kejadian dan korban banjir di Jakarta tahun 2008-2017

Tahun	Korban	Jumlah Kejadian
2008	1619	16
2009	1244	8
2010	1167	12
2011	130	8
2012	2549	7
2013	3006	26
2014	453	18
2015	935	5
2016	4311	36
2017	1306	14
Jumlah	16720	150

Total luas Jakarta yang tergenang banjir biasanya hampir setengah dari keseluruhan wilayah. Banyaknya wilayah yang tergenang memberikan dampak yang sangat merugikan bagi masyarakat. Dampak tersebut seperti terganggunya kegiatan ekonomi dan pendidikan, rusaknya fasilitas umum (tempat ibadah, pendidikan, kesehatan, transportasi), rusaknya pemukiman warga dan lain sebagainya. Tidak hanya itu saja, bencana banjir juga menyebabkan masyarakat harus mengungsi ketempat yang lebih tinggi. Banyak warga yang menjadi korban dan harus siap menghadapi banjir. Selama 10 tahun terakhir saja, sekitar 16.720 korban terkena dampak banjir harus mengungsi dan sebagian ada yang menderita (luka-luka) bahkan ada yang meninggal karena terseret arus. Korban paling banyak terjadi pada tahun 2016 sebesar 4311 dan tahun 2013 sebanyak 3006 jiwa.



Gambar 1 Wilayah rawan banjir provinsi DKI Jakarta (sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah-BPBD, DKI Jakarta)

Perlu adanya penanggulangan banjir di DAS Ciliwung, salah satunya dengan memberikan informasi melalui sistem peringatan dini banjir. *Early warning System* atau sistem peringatan dini merupakan serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang (UU No.24/2007). Jakarta sebagai wilayah yang sering terkena banjir sudah menerapkan sistem ini. Menurut Tarjuki (2011) dalam sebuah artikel, setidaknya diperlukan 4 sumber informasi ancaman banjir, yaitu prediksi cuaca dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika), prediksi pasang surut di Tanjung Priok, informasi dari pakar meteorologi dan informasi dari petugas pemantau ketinggian air di hulu (Katulampa).

Curah hujan yang jatuh ke permukaan sebagian akan terinfiltrasi ke dalam tanah dan sebagian akan ter *runoff*. Hujan yg *terrunoff* akan mengalir ke laut melalui badan air, sungai. Curah hujan dalam intensitas yang tinggi akan berdampak pada aliran air yang besar, sedangkan curah hujan dalam intensitas yang rendah akan berdampak pada aliran air yang kecil. Besarnya curah hujan akan mempengaruhi tinggi muka air atau TMA.

Informasi tentang TMA dapat digunakan untuk menentukan status siaga debit aliran suatu sungai. TMA ditentukan berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung di tempat dalam selang waktu tertentu. Misalnya di pintu air Katulampa yang merupakan outlet dari DAS Ciliwung bagian hulu, petugas pemantau memberikan informasi aktual TMA setiap 10 menit. Pemerintah sebagai lembaga yang berwenang memberikan informasi tersebut melalui website yang dapat diakses oleh seluruh masyarakat. Hanya saja, informasi yang disampaikan hanya nilai aktual, perubahan dan status siaga dari TMA saja. Pengembangan informasi TMA untuk informasi dini banjir perlu dilakukan lagi untuk memberikan informasi yang lebih baik dalam sistem peringatan dini banjir.

Drag a column header here to group by that column

LOKASI PENGAMATAN	TANGGAL	JAM	TINGGI AIR (CM)	PERUBAHAN (CM)	STATUS
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	08:00	47	0	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:50	47	1	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:40	46	0	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:30	46	0	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:20	46	0	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:10	45	0	NORMAL
PS. Katulampa (Hulu)	01/01/2016	07:00	46	0	NORMAL

● Status Normal ▲ Tinggi air meningkat TMA = Tinggi Muka Air
■ Status Siaga 3 ▼ Tinggi air menurun PA = Pintu Air
■ Status Siaga 2 ▶ Tinggi air tetap
■ Status Siaga 1

Gambar 2 Informasi peringatan dini website Posko Banjir Online, Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta

Kebanyakan sistem peringatan dini banjir menggunakan basis TMA yang mana ini hanya bisa menentukan status siaga tinggi air pada saat itu. Curah hujan dapat digunakan untuk menentukan TMA yang sudah terjadi maupun yang akan terjadi. Curah hujan yang jatuh, mengalir dari Hulu ke Hilir sungai dapat ditentukan pula waktu alirannya dengan melibatkan beberapa faktor lain, seperti panjang dan lebar sungai. Perhitungan matematis sederhana memungkinkan dari curah hujan akan didapatkan informasi waktu tempuh air dari hulu ke hilir. Hal tersebut dapat menjadikan informasi yang akurat akan kapan terjadinya banjir dari hulu sampai ke hilir.

Tujuan

1. Pengembangan model waktu tempuh dari kejadian hujan terhadap peningkatan tinggi muka air di hulu DAS Ciliwung khususnya yang berdampak pada pintu air katulampa berdasarkan perkiraan curah hujan
2. Estimasi waktu tempuh dari pintu air di hulu (katulampa) terhadap kejadian banjir di Jakarta yang melewati pintu air sepanjang DAS Ciliwung (Pintu air Kampung Kelapa, Depok, dan MT. Haryono) berdasarkan tiga skenario:
 - a. Waktu tempuh kejadian banjir ketika hujan di bagian hulu (daerah Bogor) dan hilir (daerah Jakarta)
 - b. Waktu tempuh kejadian banjir ketika hujan di bagian hulu (daerah Bogor) saja
 - c. Waktu tempuh kejadian banjir ketika hujan di bagian hilir (daerah Jakarta) saja

Ruang Lingkup

Studi ini memiliki enam bagian yang harus dilakukan, berupa:

1. Tinjauan pustaka informasi yang tersedia dan konsultasi
2. Mengembangkan zonasi iklim
3. Identifikasi kontribusi curah hujan pada setiap wilayah di DAS Ciliwung
4. Model kejadian curah hujan menjadi tinggi muka air di hulu DAS
5. Model waktu tempuh dari curah hujan wilayah hingga kejadian banjir (Pintu Air Katulampa hingga Pintu air selanjutnya)
6. Pengembangan aplikasi untuk mensimulasi waktu tempuh

BAB 2 Karakteristik Wilayah Studi

Daerah aliran sungai atau DAS merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS Ciliwung merupakan DAS yang melewati dua provinsi, yaitu Jawa Barat dan Jakarta dengan sebagian besar sumber mata airnya dari Gunung Gede Pangrango, Bogor. Sungai utamanya melewati Kabupaten Bogor, Kota Bogor, Kota Depok, kota Jakarta dan bermuara di teluk Jakarta. DAS Ciliwung diapit dua DAS besar, yaitu DAS Citarum disebelah timur dan DAS Cisadane di sebelah barat. Secara geografis, DAS Ciliwung terletak pada koordinat $106^{\circ}42'12'' - 106^{\circ}55'20''$ BT dan $61^{\circ}1'54'' - 7^{\circ}1'27''$ LS. DAS seluas 337 km^2 ini memiliki sungai utama dengan panjang sekitar 125 Km. DAS Ciliwung terbagi menjadi tiga bagian, yaitu hulu, tengah dan hilir. Masing-masing bagian tersebut memiliki perbedaan karena berada pada ketinggian yang berbeda. Berikut karakteristik masing-masing bagian DAS Ciliwung:

Tabel 2 Karakteristik DAS Ciliwung

Karakteristik	Hulu	Tengah	Hilir
Wilayah DAS	Kecamatan Megamendung; Cisarua; Ciawi (Kabupaten Bogor) dan Bogor Timur; Bogor Selatan (Kota Bogor)	Kecamatan Sukaraja; Cibinong; Bojonggede; Cimanggis (Kabupaten Bogor), Kecamatan Kota Bogor Timur; Kota Bogor Tengah; Kota Bogor Utara; Tanah Sereal (Kota Madya Bogor) dan Kecamatan Pancoran Mas; Sukmajaya; Beji (Depok)	Jakarta Selatan dan Jakarta Pusat yang melewati MT Haryono hingga Pintu Air Manggarai.
Sub-DAS	Ciseseupan, Cisukabirus, Cisarua, Ciseuren, Ciliwung Hulu, Cicaek, Cibalok.	Cijantung, K.Sugutamu, Cikumpa, Ciluar, Cibulu, Ciparingi, Ciliwung Tengah, K.Baru2	K.Baru1, K.Condet, Ciliwung Hilir
Luas	146 km^2	94 km^2	86 km^2
Variasi Kemiringan Lereng	2-15% : $70,5 \text{ km}^2$ 15-45% : $52,9 \text{ km}^2$ >45% :	Didominasi antara 2-15 %	Berada antara 0-2 %
Arus sungai	Deras saat musim hujan	Cukup deras saat musim hujan	Tenang

Bagian Hilir sungai seringkali menjadi tempat terjadinya bencana hidrologis yang paling sering terjadi. Jakarta yang menjadi bagian dari Ciliwung bagian hilir sudah menjadi langganan banjir setiap tahunnya. Penyebab banjir Jakarta adalah meluapnya air sungai akibat sering terjadinya hujan musiman yang lebat dari wilayah hulu hingga hilir. Selain itu, drainase yang buruk di wilayah Jakarta dan perubahan penggunaan lahan menjadi faktor yang menyebabkan banjir masih sering terjadi. Banjir Jakarta sudah menjadi persoalan dari zaman penjajahan. Berikut sejarah banjir dari tahun ke tahun dan beberapa upaya yang sudah dilakukan.

- 1699** Erupsi Gunung Salak menyebabkan daerah Oud Batavia banjir.
- 1714** Penebangan hutan di area Puncak menyebabkan debit meningkat dan banjir di Jakarta.
- 1854** Meningkatnya debit Ciliwung menyebabkan daerah Nieuw Batavia banjir.
- 1872** Curah hujan lebat sekitar 286 mm menyebabkan debit meningkat dan pintu air *sluisburg* (depan masjid Istiqlal) jebol dan banjir.
- 1979** Hujan lokal dan banjir kiriman dari wilayah tinggi menjadikan sekitar 1100 Ha wilayah Jakarta banjir. Wilayah Jakarta Selatan yang biasanya aman pun terkena banjir setinggi 2.5 m. Sekitar 20 orang meninggal dan hilang.
- 1994** Hujan 3 hari berurut-urut sejak 6 januari 1994. Genangan banjir terjadi disebagian besar

Jakarta dengan ketinggian antara 0.2-1 meter. Kawasan paling parah banjir adalah Pulogadung.

- 1996** Hujan lebat dengan intensitas 300mm/hari selama seminggu pada bulan Januari menyebabkan tahun tersebut terjadi banjir yang sangat besar. Banjir terburuk setelah tahun 80-an ini ketinggiannya mencapai 7 meter. Sekitar 10 orang meninggal dan hilang.
- 2002** Kesalahan penataan menyebabkan banjir pada 27 Januari - 1 Februari. Tahun ini termasuk banjir terbesar. Sekitar 24.25 % Jakarta tergenang. Sekitar 25 orang meninggal dan hilang.
- 2007** Banjir terbesar Jakarta yang terjadi selama 3 abad terakhir. Hujan lebat pada 1-2 Februari dan drainase yang memburuk menyebabkan 60% wilayah Jakarta banjir. Sentra ekonomi lumpuh, lalu lintas terputus dan sekolah diliburkan. Sekitar 60 orang meninggal dan hilang karena terseret arus dan tersengat listrik.
- 2013** Banjir ini menewaskan sedikitnya 20 orang pada 21 Januari 2013 di 720 RT, 73 kelurahan dan 31 kecamatan dari total 44 kecamatan di DKI Jakarta. Banjir melumpuhkan pusat kota. Kerugian ekonomi lebih dari 1 triliun.

**dikumpulkan dari berbagai sumber terkait*

Tabel 3 Wilayah Terdampak Bencana Banjir DAS Ciliwung Wilayah Jakarta (10 Tahun terakhir)

Tanggal	Wilayah Terdampak	Kondisi Hidrologis	Sumber
2007	89 Kelurahan di Jakarta (454,8 km ²).	Curah hujan: <ul style="list-style-type: none"> Jakarta 340 mm per hari Bogor 100 mm per hari TMA: <ul style="list-style-type: none"> Katulampa 250 cm (Siaga I) Manggarai 1.090 cm (Siaga I) 	https://metro.tempo.co/read/641933/apa-beda-banjir-jakarta-2007-2013-2014-dan-2015/full&view=ok
2008	79 Kelurahan di Jakarta	Tinggi Genangan Banjir: <ul style="list-style-type: none"> Cempaka Putih: 30 cm Petamburan: 25-70 cm Benhil: 60-130 cm Serdang 20-70 cm Cempaka Baru 20-100 cm Sawah Besar 15-60 cm Senen 10-60 cm Bungur 10-60 cm Gondangdia 10-60 cm Cipinang Muara 30-100 cm Cipinang Baru Utara 70-120 cm Cipinang Baru Selatan 40-160 cm Pulogadung 50-80 cm Jakarta Utara: 35 cm Jakarta Selatan; 10-50 cm 	https://news.detik.com/berita/888218/korban-banjir-jakarta-79796-jiwa
2009	Wilayah Kali Pesanggrahan		https://news.detik.com/berita/1243822/puncak-banjir-di-jakarta-januari-2010-lebih-parah-dibanding-tahun-lalu
2010 (awal tahun)	Jakarta utara paling banyak terdampak karena penyebab banjir selain dari curah hujan dan sungai yang meluap, rob dari laut juga membenjiri kawasan ini.		http://suarajakarta.co/news/inilah-catatan-banjir-di-jakarta-dalam-kategori/
2012	10 kecamatan di Jakarta	Kedalaman tertinggi: 2,5 meter	https://news.detik.com/berita/3429219/banjir-jakarta-di-5-tahun-terakhir
2013	124 kelurahan di Jakarta (41 km ²)	Curah hujan: <ul style="list-style-type: none"> Jakarta 100 mm per hari Bogor 22-75 mm per hari TMA: <ul style="list-style-type: none"> Katulampa 210 cm (Siaga I) Manggarai 1.030 cm (Siaga I) 	https://metro.tempo.co/read/641933/apa-beda-banjir-jakarta-2007-2013-2014-dan-2015/full&view=ok

2014	31 kelurahan	Curah hujan: <ul style="list-style-type: none"> Jakarta 16-104 mm per hari Bogor 102 mm per hari TMA: <ul style="list-style-type: none"> Katulampa 140 cm (Siaga III) Manggarai 910 cm (siaga II) 	https://metro.tempo.co/read/641933/apa-beda-banjir-jakarta-2007-2013-2014-dan-2015/full&view=ok
2014	37 kecamatan di Jakarta	Kedalaman tertinggi: 4 meter CH: 100 mm per hari	https://news.detik.com/berita/3429219/banjir-jakarta-di-5-tahun-terakhir
2015	38 kecamatan di Jakarta	Kedalaman tertinggi: 2 meter	https://news.detik.com/berita/3429219/banjir-jakarta-di-5-tahun-terakhir
2015	12 kelurahan	Curah hujan (8 - 9 Feb) <ul style="list-style-type: none"> Bogor : intensitas ringan 0,1-5 mm/jam Depok : intensitas sedang 5-10 mm/jam Ciganjur : intensitas lebat 10-20 mm/jam Kebayoran Baru : intensitas lebat 10-20 mm/jam Kelapa Gading : intensitas lebat 10-20 mm/jam TMA (10 Februari 2015) <ul style="list-style-type: none"> Katulampa : 50 cm (Siaga IV) Depok : 135 cm (Siaga IV) Karet : 610 cm (Siaga I) Sunter Selatan : 270 cm (Siaga I) Waduk Pluit : 145 cm (Siaga I) 	https://metro.tempo.co/read/641933/apa-beda-banjir-jakarta-2007-2013-2014-dan-2015/full&view=ok
2016	25 kecamatan di Jakarta	Kedalaman tertinggi 2-3,6 meter	https://news.detik.com/berita/3429219/banjir-jakarta-di-5-tahun-terakhir
2017	15 kecamatan di Jakarta	Kedalaman tertinggi: 1,5 meter	https://news.detik.com/berita/3429219/banjir-jakarta-di-5-tahun-terakhir

Aksi Pemerintah Dalam Menangani Banjir Jakarta

Berbagai aksi telah dilakukan baik oleh pemerintah maupun masyarakat sekitar DAS Ciliwung untuk menangani dan mengendalikan bencana banjir khususnya di wilayah DKI Jakarta. Beberapa aksi yang telah dilakukan oleh pemerintah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Aksi-aksi yang telah dilakukan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta

Tahun	Kegiatan Pengendalian
1913	Pembangunan Banjir Kanal Barat Selesai pembangunannya pada 1919. Bertujuan untuk mengendalikan air yang masuk ke Jakarta supaya langsung mengalir ke laut melalui kanal yang ada di tepi barat Ibukota, sehingga air tidak menggenangi wilayah dalam provinsi dan dampak banjir dapat dikurangi.
1973	Perencanaan Pembuatan Banjir Kanal Timur Disampaikan dalam pola induk pengendalian banjir dan sistem drainase Jakarta
2003-2010	Proses Pembuatan Banjir Kanal Timur BBWS Ciliwung Cisadane bertugas melaksanakan pembangunan kontruksi. Pemerintah DKI Jakarta, khususnya dinas pekerjaan umum bertugas melaksanakan pembebasan lahan kawasan kanal tersebut. Bertujuan untuk mengendalikan air yang masuk ke Jakarta supaya langsung mengalir ke laut melalui kanal yang ada di tepi timur Ibukota, sehingga air tidak menggenangi wilayah dalam provinsi dan dampak banjir dapat dikurangi.
2003-sekarang	Program Normalisasi Program Normalisasi sungai dan saluran, penataan kali dan saluran, pengerukan sampah-sampah di pintu air. Pengerukan dilakukan karena sebagian besar sungai dan saluran air telah mengalami pendangkalan akibat sedimen yang terbawa di sepanjang aliran. Selain itu juga karena kebiasaan masyarakat yang masih sulit diubah, yaitu membuang sampah ke sungai dan saluran air. Pengerukan

	biasanya dilakukan dengan menggunakan alat berat yang diikuti dengan upaya normalisasi lainnya, seperti relokasi atau penggusuran bangunan liar di sepanjang aliran sungai.
	Sistem Drainase Drainase dibuat di kawasan yang permukaan tanahnya relatif lebih tinggi. Drainase ini memanfaatkan gaya gravitasi sehingga akan mengalirkan air secara alami ke daerah yang lebih rendah. Air yang tertahan di kolam penampung/waduk di daerah yang lebih rendah selanjutnya digunakan sistem polder.
	Penggunaan Sistem Polder Sistem polder merupakan sistem tata air menggunakan tanggul-tanggul raksasa yang mengelilingi kolam penampung/waduk, dilengkapi dengan pintu air yang dapat diikendalikan sesuai kebutuhan dan berfungsi untuk memompa air yang menggenang. Pemompaan air diarahkan supaya mengarah ke sungai, kanal, atau langsung bermuara di laut. Metode ini telah lama diterapkan oleh Belanda yang memiliki kemiripan dengan Jakarta dalam hal ancaman banjir.
	Normalisasi Waduk Sama halnya dengan sungai-sungai dan saluran air di Jakarta, sebagian besar waduk juga sudah mengalami pendangkalan akibat timbunan sampah dan bangunan liar di sekitar waduk. Normalisasi waduk dilaksanakan dengan cara mengeruk dasar waduk dan membongkar bangunan liar di sekitar waduk supaya memaksimalkan daya tampung air. Tidak hanya bermanfaat untuk mengurangi wilayah terdampak banjir, normalisasi waduk di Jakarta juga dimaksudkan sebagai wahana rekreasi masyarakat dengan memperindah dan membangun taman di sekitar waduk.
	Pendekatan ke Masyarakat Pendekatan ke masyarakat yang dilakukan pemerintah DKI Jakarta adalah upaya yang penting untuk menginformasikan pentingnya mitigasi dan adaptasi terhadap bencana banjir. Langkah yang dilakukan bersama masyarakat contohnya adalah memberikan informasi melalui masjid untuk mengevakuasi keluarga dan barang berharga, serta membuat tanggul. Melakukan upaya relokasi penduduk di daerah rawan banjir ke rumah-rumah susun yang sudah disediakan oleh pemerintah.

Aksi Masyarakat, Komunitas, dan LSM Dalam Menangani Banjir Jakarta

Selain berbagai aksi yang dilakukan oleh pemerintah, masyarakat sekitar DAS Ciliwung beserta komunitas atau LSM melakukan berbagai upaya untuk mengurangi dampak banjir. Keterlibatan masyarakat merupakan unsur yang tidak dapat dipisahkan dari upaya penanggulangan banjir di DKI Jakarta. Tindakan sadar dan siap siaga masyarakat terhadap banjir justru adalah pondasi utama. Seperti halnya kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat di RW 06 Kelurahan Bidara Cina, Jakarta yang menyadari pentingnya upaya mitigasi dan adaptasi terhadap bencana banjir. Aksi-aksi masyarakat antara lain melakukan pertemuan 1-2 bulan sebelum musim hujan guna mempersiapkan diri dalam menghadapi ancaman bencana banjir, kerja bakti membersihkan selokan, memperbaiki bantaran sungai, membangun tempat pengungsian, dan lain-lain.

Upaya Penanggulangan Banjir	Keterangan
Gerakan Ciliwung Bersih	Pada tahun 1989 atas dasar inisiasi Gubernur Jakarta saat itu, Wiyogo Atmodarminto, bekerja sama dengan Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Pekerjaan Umum, Walhi, Dana Mitra Lingkungan, Universitas Indonesia dan beberapa universitas lainnya, dicetuskan gerakan pemerhati sungai-sungai di Jakarta, khususnya Sungai Ciliwung.
Sebagai Pemantau Pemerintah	Memantau penyelesaian program-program atau upaya-upaya penanggulangan banjir yang dicanangkan pemerintah dan juga regulasi-regulasi terkait
Peringatan (Prevention) dan Perencanaan dan Persiapan (Planning and Preparedness)	Berbagai upaya mitigasi seperti pembersihan sunga dan berbagai kegiatan lingkungan lainnya yang bertujuan meminimalisir kerusakan apabila terjadi bencana
Tanggapan (Response)	Aktivitas selama dan setelah kejadian banjir berlangsung, yaitu membantu masyarakat yang terkena dampak bencana dan berusaha meminimalkan kerusakan, tahapan ini seringkali dikenal sebagai tahapan darurat (tanggap darurat).
Pemulihan (recovery).	Aktivitas jangka pendek yang bertujuan untuk menyediakan sistem pendukung kehidupan beroperasi secara standar dan kegiatan jangka panjang untuk mengembalikan pada kondisi kehidupan normal seperti sebelum terjadi bencana.

Ketersediaan Data DAS Ciliwung Dari Berbagai Instansi Pemerintah Terkait

Dalam pembuatan model estimasi waktu tempuh DAS Ciliwung diperlukan beberapa data pendukung, berupa data iklim, data geologi, dan data hidrologi. Data didapatkan dari beberapa instansi pemerintah yang terkait dalam menyediakan data iklim dan hidrologi khususnya wilayah DAS Ciliwung. Secara rinci data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.

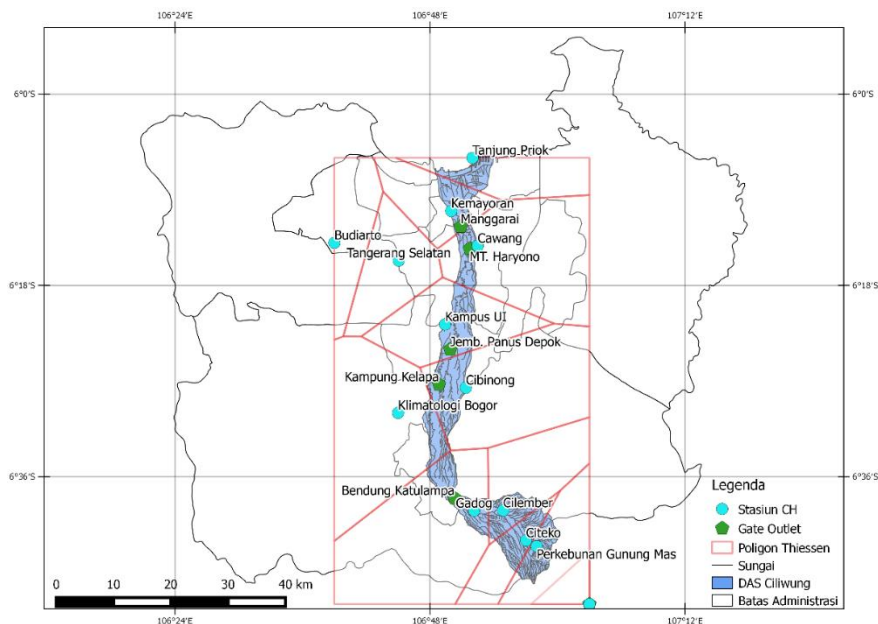
Tabel 5 Ketersediaan data DAS Ciliwung dari berbagai instansi pemerintah

No	Data	Tahun	Sumber
1.	Curah Hujan Harian - Citeko - Sta. Klimatologi Bogor - Kemayoran - Tanjung Priok	1986 – 2018 1986 – 2018 1986 – 2018 1986 – 2018	BMKG
2.	Prakiraan Cuaca Wilayah DKI Jakarta	-	BMKG
3.	Prakiraan Cuaca Tiga Hari Kedepan	-	BMKG
4.	Tinggi Muka Air - Katulampa - Depok - MT Haryono - Kampung Kelapa	2007 – 2017 2016 – 2017 2007 – 2017 2011 – 2017	BBWS Ciliwung-Cisadane
5.	Data Curah Hujan Harian - Gunung Mas - Cilember - Gadog - Cibinong - Kampus UI - Cawang	2007 – 2017 2011 – 2017 2008 – 2017 2008 – 2017 2007 – 2017 2007 – 2017	BBWS Ciliwung-Cisadane
6.	Shapefile Sungai Ciliwung - Shapefile DAS Ciliwung - Shapefile Sub-DAS Ciliwung - Shapefile Sungai Line - Shapefile Sungai Area	2013	BPDAS Ciliwung-Citarum
7.	Debit Air - Katulampa - Depok - MT Haryono - Kampung Kelapa	2007 – 2017 2016 – 2017 2007 – 2017 2011 – 2017	BBWS Ciliwung-Cisadane
8.	Tutupan Lahan	2017	KLHK
9.	Jenis Tanah (USDA)	2017	BPDAS Ciliwung-Citarum
10.	Kejadian bencana banjir dan Longsor - Provinsi Jakarta - Kota Bogor - Kabupaten Bogor - Kota Depok	2008 – 2018	DIBI – BNPB

BAB 3 Kontribusi Curah Hujan Wilayah Terhadap Debit Aliran Dan Tinggi Muka Air

Analisis Curah Hujan Wilayah

Curah hujan merupakan sumber utama dari air yang mengalir di sungai. Air yang turun ke bumi akan berkumpul dalam suatu luasan (DAS), lalu dialirkan melalui sungai. Jumlah aliran air di suatu luasan DAS merupakan jumlah dari curah hujan sebesar luasan wilayah DAS tersebut. Oleh karena itu, untuk menentukan jumlah air yang masuk ke suatu luasan DAS dapat menggunakan curah hujan wilayah. Curah hujan wilayah merupakan jumlah curah hujan dalam suatu luasan wilayah. Curah hujan wilayah dapat ditentukan berdasarkan stasiun curah hujan yang tersebar sepanjang wilayah DAS Ciliwung. Dapat dilihat pada gambar, terdapat 10 stasiun curah hujan. Setiap stasiun curah hujan mewakili luasan tertentu. Stasiun cuaca tersebut mengumpulkan data curah hujan dalam bentuk titik, sehingga untuk dijadikan menjadi curah hujan wilayah perlu dikalikan dengan proporsi pengaruh stasiun curah hujan tersebut terhadap stasiun curah hujan lainnya yang berdekatan. Poligon Thiessen dibuat untuk mengetahui curah hujan wilayah. Daerah yang ada dalam poligon yang sama, maka dianggap nilai curah hujannya bernilai sama.



Gambar 3 Poligon Thiessen Stasiun Curah Hujan DAS Ciliwung

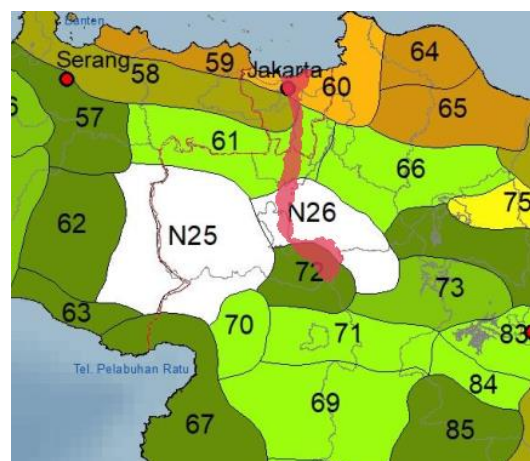
Berdasarkan poligon Thiessen yang ada, dapat ditentukan curah hujan wilayah yang mempengaruhi aliran air di outlet-outlet sub-DAS Ciliwung. Outlet Katulampa dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi di Perkebunan Gunung Mas, Citeko, Cilember, dan Gadog. Outlet Kampung Kelapa dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi di Bogor dan Cibinong. Aliran air di outlet Depok dipengaruhi oleh curah hujan yang terukur di kampus UI. Hujan yang terjadi di Cawang dapat berkontribusi terhadap aliran air di MT Haryono. Poligon Thiessen yang mencakup wilayah Kemayoran dapat mempengaruhi aliran di outlet Manggarai. Sedangkan di bagian hilir sungai Ciliwung dipengaruhi oleh curah hujan di wilayah Tanjung Priok.

Tabel 6 Luas poligon thiessen untuk masing-masing stasiun curah hujan

Stasiun Curah Hujan	Luas Poligon Thiessen (km ²)
Gadog	54.5354
Kampus UI	55.4963
Cilember	42.9545
Cibinong	63.8189
Tanjung Priok	27.1858
Kemayoran	36.3963
Citeko	41.6983
Klimatologi Bogor	27.8484
Perkebunan Gunung Mas	40.0545
Cawang	29.7319

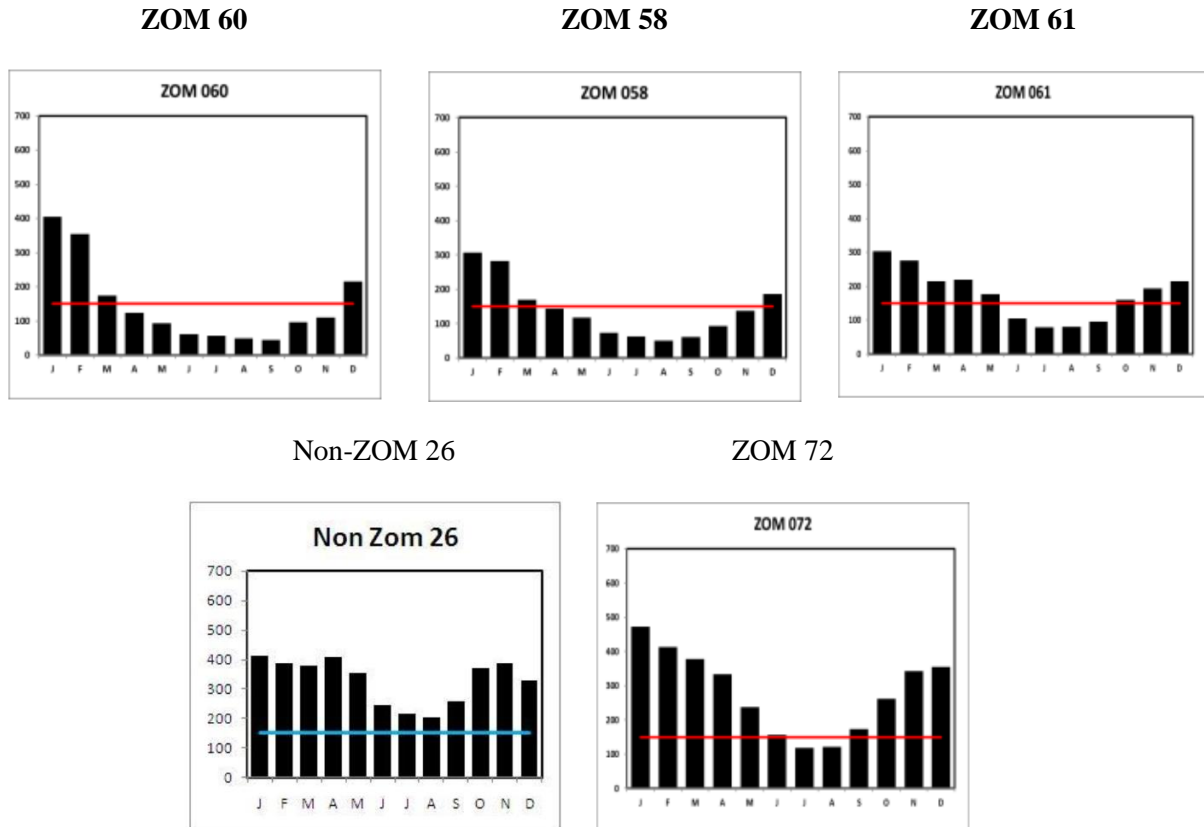
Analisis Klaster Zonasi Iklim

Pewilayahan sub-wilayah iklim pada daerah studi ditujukan untuk memahami karakteristik iklim daerah studi. Pewilayah sub-wilayah iklim atau Zonasi iklim telah dilakukan oleh BMKG untuk membagi berbagai lokasi berdasarkan pola curah hujan. Zonasi iklim BMKG dikenal dengan ZOM (Zona Musim), dimana untuk DAS Ciliwung terbagi kedalam 5 zona iklim. Zona Musim (ZOM) menandakan bahwa terdapat perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau (umumnya pola Monsun). Sedangkan Non-ZOM menandakan bahwa memiliki 2 maksimum curah hujan dalam setahun (pola Ekuatorial) atau daerah dimana sepanjang tahun curah hujannya tinggi atau rendah (BMKG 2018). Pada bagian hulu DAS Ciliwung, memiliki zonasi Non-ZOM 26 dan ZOM 72. Untuk DAS Ciliwung bagian tengah termasuk pada zonasi ZOM 61 dan 58. Sedangkan untuk DAS Ciliwung hilir termasuk pada zonasi ZOM 60 dan 58. Berdasarkan informasi tersebut, dapat dilihat bahwa DAS Ciliwung memiliki berbagai pola iklim yang berbeda pada setiap lokasi yang berpengaruh terhadap pola curah hujan yang berbeda pada masing-masing lokasi. Perbedaan pola curah hujan dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 4 Peta zonasi musim (ZOM) BMKG untuk wilayah DAS Ciliwung

Karakteristik pola curah hujan masing-masing ZOM yang terdapat di wilayah DAS Ciliwung dapat dilihat pada gambar dibawah. Secara umum, untuk semua zona musim memiliki pola monsoonal, dimana puncak curah hujan terjadi di awal dan akhir tahun, dengan curah hujan terendah terdapat pada pertengahan tahun. Hal yang membedakan antar zona adalah nilai tinggi curah hujan pada musim hujan serta curah hujan di musim kemarau.



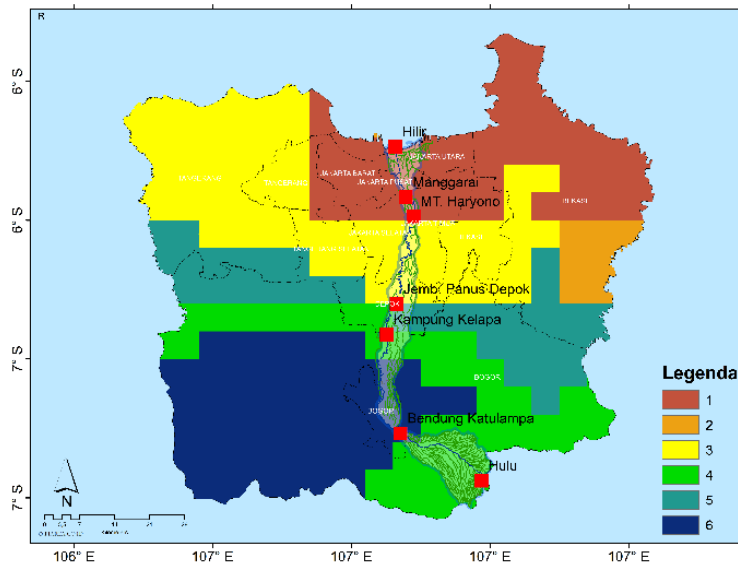
Gambar 5 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim BMKG wilayah DAS Ciliwung

Selain menggunakan zonasi musim milik BMKG, pewilayahan iklim dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi Principal Component Analysis (PCA) dan analisis cluster menggunakan data iklim CHIRPS (tahun baseline 1986 – 2015) dan WorldClim (tahun baseline 1971 – 2000). Pendekatan ini telah banyak digunakan untuk membuat zonasi iklim (e.g., Gong; Richman 1995; Stooksbury; Michaels 1991; Unal et al. 2003; Winkler 1992). Pada penelitian ini, nilai curah hujan bulanan akan digunakan sebagai data masukan. Penggunaan PCA ditujukan untuk menghilangkan multikolinearitas antar variabel iklim yang digunakan dalam proses zonasi (dalam kasus ini data bulanan). Secara umum analisis cluster ditujukan untuk memaksimalkan perbedaan antar grup dan meminimalkan perbedaan dalam grup (Kalkstein et al. 1987).

Zonasi Iklim Berdasarkan data CHIRPS (1986 – 2015)

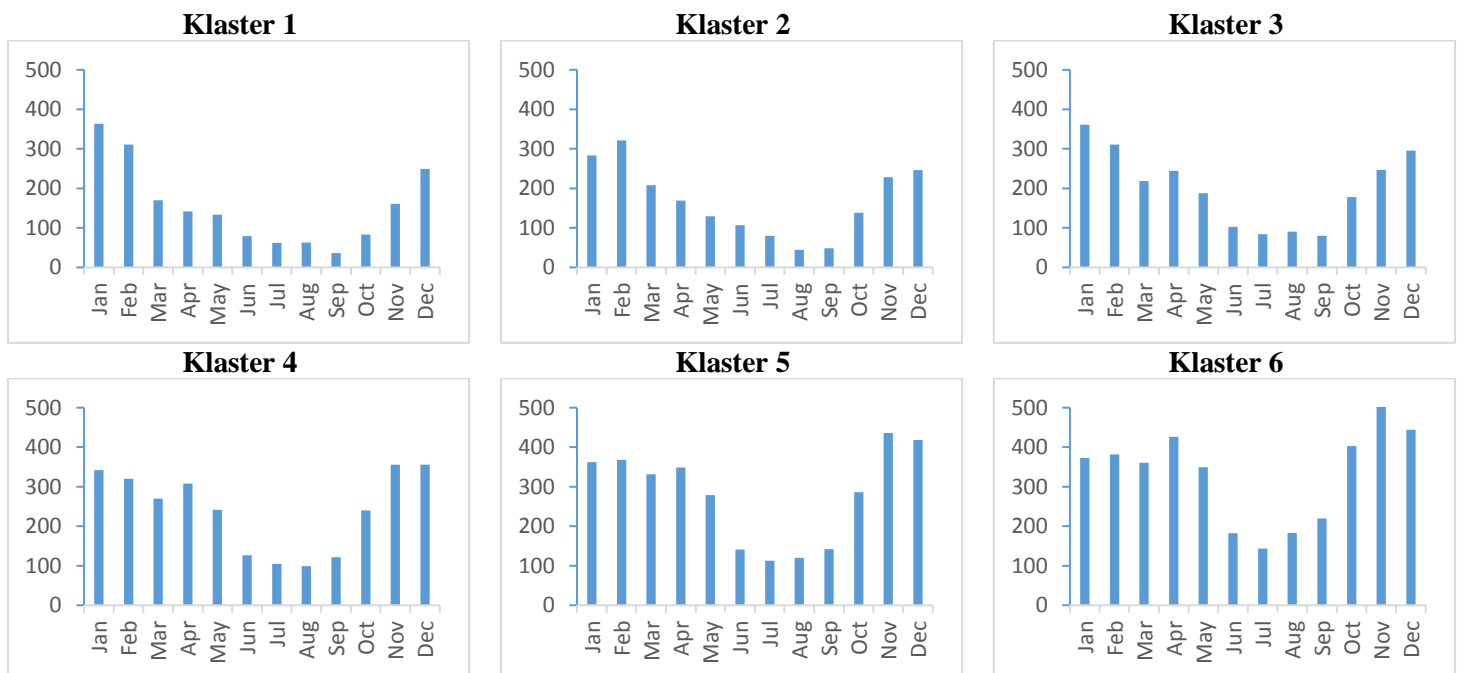
CHIRPS merupakan sebuah dataset curah hujan global selama lebih dari 30 tahun. Data tersebut hanya meliputi wilayah 50° lintang utara hingga 50° lintang selatan, data yang tersedia mulai dari tahun 1981 hingga sekarang. CHIRPS berasal dari data citra satelit dengan resolusi 0.05° x 0.05° dikombinasi dengan data curah hujan stasiun insitu untuk membentuk data curah hujan grid, biasa digunakan untuk analisis tren dan pemantauan musim kering (Funk et al. 2014). Data CHIRPS yang digunakan adalah data curah hujan bulanan CHIRPS versi 2.0 tahun 1986 – 2015.

Berdasarkan analisis kluster data CHIRPS tahun 1986 – 2015, didapatkanlah 6 pewilayahan iklim yang terdapat di wilayah DAS Ciliwung. Dari 6 wilayah iklim, hanya 5 wilayah iklim yang terdapat di wilayah DAS ciliwung yaitu klaster 1, klaster 3, klaster 4, klaster 5, dan klaster 6. Pembagaian kluster iklim ini berdasarkan pola curah hujan bulanan dari keseluruhan data yang ada dengan melihat kemiripan pola curah hujan. Pola curah hujan yang sama akan digabungkan kedalam kluster iklim yang sama.



Gambar 6 Zonasi iklim berdasarkan data CHIRPS

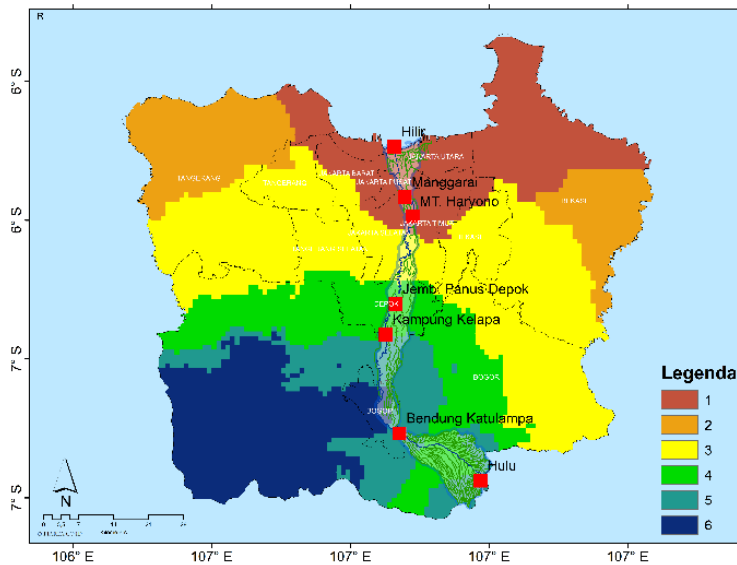
Secara umum, masing-masing pola curah hujan masing-masing klaster dapat dilihat pada gambar . Dari keseluruhan pola curah hujan, dapat dilihat bahwa setiap klaster memiliki pola curah hujan monsunal, dimana puncak curah hujan terdapat di akhir dan awal tahun serta curah hujant erendah terdapat di pertengahan tahun.



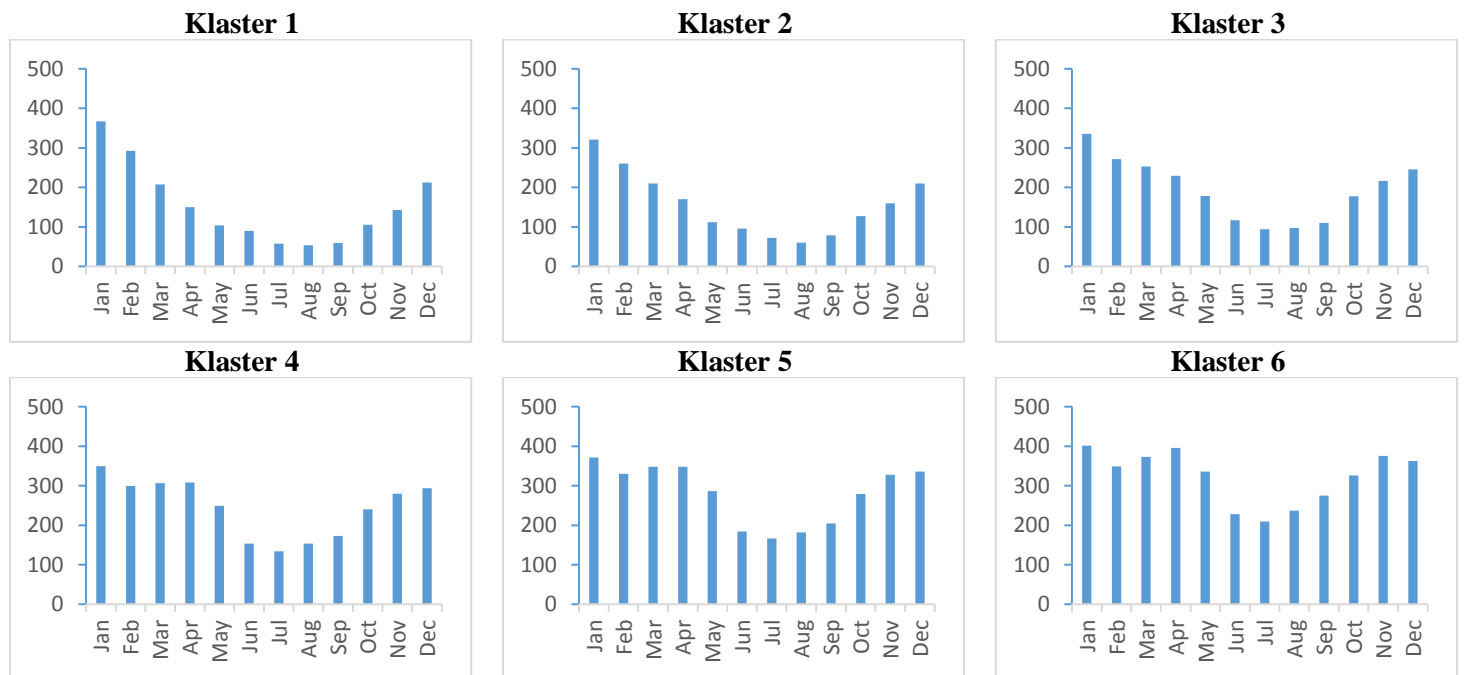
Gambar 7 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim CHIRPS wilayah DAS Ciliwung

Zonasi Iklim Berdasarkan data WorldClim (1971 – 2000)

Worldclim dataset merupakan data iklim bulanan yang diinterpolasi secara spasial dengan resolusi spasial yang sangat tinggi (sekitar 1 km²). Data Worldclim terdiri dari suhu bulanan (minimum, maksimum dan rata-rata), curah hujan, radiasi matahari, tekanan udara dan kecepatan angin, yang diagregasi secara temporal dengan rentang tahun 1970-2000, menggunakan 9.000 dan 60.000 data stasiun cuaca. Data stasiun cuaca diinterpolasi menggunakan kovariat splines elevasi, jarak ke pantai dan tiga kovariat data satelit: suhu permukaan tanah maksimum dan minimum serta tutupan awan, yang diperoleh dari satelit MODIS.



Gambar 8 Zonasi iklim berdasarkan data WorldClim



Gambar 9 Pola curah hujan pada masing-masing zonasi iklim WorldClim wilayah DAS Ciliung

Kontribusi curah hujan terhadap debit aliran

Tinggi-rendahnya aliran sungai (streamflow) atau debit sungai (river discharge) ditentukan terutama oleh besarnya hujan (depth of rainfall), intensitas hujan, luas daerah hujan, lama waktu hujan, luas daerah aliran sungai dan ciri-ciri daerah aliran itu (Subarkah 1980). Dengan bahasa yang berbeda, Viesmann et al (1977) dan Dingman (1994) menyatakan bahwa besarnya streamflow pada suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh karakteristik iklim (curah hujan), vegetasi dan fisik dari wilayah itu.

Ada beberapa fungsi atau model yang telah dikembangkan untuk menggambarkan hubungan antara curah hujan dengan debit sungai, dua diantaranya adalah:

1. Metode Rasional

$$Q_p = 0.278 C.I.A$$

Keterangan:

Q_p : debit puncak ($m^3 s^{-1}$)

C : koefisien limpasan (rasio antara tinggi limpasan dan tinggi hujan)

I : intensitas hujan ($mm\ jam^{-1}$); dalam perhitungan ini, intensitas hujan memiliki durasi hujan yang sama dengan waktu konsentrasinya (t_c)

A : luas DAS (km^2)

Berdasarkan persamaan ini dapat dijelaskan bahwa besar debit puncak berbanding lurus dengan laju intensitas hujannya. Sehingga jika terjadi curah hujan dengan intensitas tinggi maka akan terjadi peningkatan debit sungai semakin tinggi. Batasan dari penggunaan persamaan adalah bahwa persamaan ini hanya berlaku untuk DAS berukuran kecil (orde-1 menurut metode Strahler) sehingga mengabaikan volume hujan yang tertahan dalam suatu depresi, seperti: danau, kolam atau topografi cekung yang lain.

2. Metode Bilangan Kurva (SCS Curve Number)

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

Keterangan:

Q : volume limpasan (in.)

P : curah hujan (in.)

S : infiltrasi potensial, yaitu beda potensi maksimum antara tebal hujan dan limpasan pada awal hujan

CN : bilangan kurva yang nilainya didekati dengan jenis penggunaan lahan, tindakan konservasi lahan, kondisi hidrologis dari lahan tersebut serta kelompok tanah/lahan hidrologisnya

Untuk mengatasi kelemahan dari metode rasional dimana hanya dapat digunakan untuk luasan DAS sebesar 40 – 80 Ha, maka persamaan metode bilangan kurva dapat digunakan untuk DAS berukuran besar seperti DAS Ciliwung. Berdasarkan persamaan tersebut, dapat diketahui bahwa debit pada hari ke-t dipengaruhi oleh jumlah hujan 5 hari sebelumnya (Antecedent Moisture Condition, AMC). Jika 5 hari sebelumnya tidak terjadi hujan, maka curah hujan yang terjadi pada hari ke-t lebih banyak menjadi resapan dibanding dengan limpasan. Sebaliknya, jika 5 hari sebelumnya terjadi hujan, maka curah hujan yang terjadi pada hari ke-t lebih banyak menjadi limpasan dibanding dengan resapan.

Dalam rangka melihat pengaruh hujan terhadap aliran atau debit sungai maka gunakan persamaan SCS Curve Number. Alasannya, kontribusi hujan terhadap debit sungai adalah nyata tetapi tinggi-rendahnya aliran sungai sangat ditentukan oleh karakteristik fisik DAS (hydrologic soil group), jenis vegetasi (termasuk jenis penggunaan/tutupan lahan), dan tindakan konservasi; ketiganya di-couple dalam istilah Bilangan Kurva (Curve Number).

BAB 4 Metode Pengembangan Waktu Tempuh

Metode-Metode Penentuan Waktu Tempuh

Metode waktu tempuh aliran air berdasarkan kejadian hujan dikembangkan dengan menggunakan berbagai metoda terkait perpindahan fluida. Waktu tempuh dihitung berdasarkan berbagai metode untuk menentukan hasil yang optimal terkait perjalanan pergerakan air di sungai dari berbagai outlet.

Metode Energi Mekanik

Energi mekanik adalah hasil penjumlahan energi potensial dan energi kinetis. Energi ini diasosiasikan dengan gerak dan posisi dari sebuah objek. Berdasarkan konsep tersebut, maka metode tersebut dapat diterapkan untuk pergerakan masa air. Metode ini melihat bahwa air sungai bergerak dari elevasi yang lebih tinggi (Hulu) menuju elevasi yang lebih rendah (Hilir). Metode ini menunjukkan bahwa pergerakan air dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian serta kecepatan aliran sungai tersebut. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$EP = EK$$
$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$
$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$
$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$
$$\frac{s}{t} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$
$$t = \frac{s}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

Keterangan:

EP	: Energi Potensial	EK	: Energi Kinetik
m	: Massa, (kg)	g	: Gaya Gravitasi, (9.8 m/s)
h	: Ketinggian, (m)	v	: Kecepatan, (m/s)
s	: Jarak, (m)	t	: Waktu, (s)

Tabel 7 Hasil perhitungan waktu tempuh berdasarkan persamaan Energi Mekanik

Stasiun	s	h	Waktu Tempuh
Hulu ke Katulampa	23540	1058	0.05
Katulampa ke Kampung Kelapa	31320	167	0.15
Kampung Kelapa ke Depok	10690	36	0.11
Depok ke M. Haryono	39230	69	0.30
MT. Haryono ke Manggarai	7890	4	0.25
Manggarai ke Hilir	14560	10	0.29

Metode Travel Time

Metode ini memberikan penjelasan bahwa waktu tempuh merupakan fungsi dari panjang sungai serta kecepatan aliran sungai. Travel time berbanding lurus dengan panjang sungai dan berbanding terbalik dengan kecepatan aliran. Persamaan kecepatan aliran dipengaruhi oleh jenis dasar aliran dan kemiringan permukaannya. Secara umum, semakin terbangun suatu lahan maka kecepatan aliran akan semakin tinggi sehingga travel time akan semakin cepat dari satu titik ke titik lainnya.

$$T_t = \frac{l}{3600V}$$

Keterangan:

T_t : Waktu Tempuh, (jam) V : Rata-rata kecepatan aliran antara 2 titik, (m/s)
 l : Jarak antara 2 titik didalam sebuah kawasan aliran, (m) 3600 : faktor konversi, (detik ke jam)

Nilai Kecepatan aliran (V) yang digunakan berdasarkan persamaan berikut (USDA-NRCS 2010):

Tabel 8 Persamaan kecepatan aliran berdasarkan jenis tutupan lahan

Jenis Dasar Aliran	Persamaan Kecepatan (m/s)
Lahan terbangun (aspal dan parit)	$V = 20.328(s)^{0.5}$
Belukar	$V = 16.135(s)^{0.5}$
Tanah terbuka	$V = 9.965(s)^{0.5}$
Perkebunan, Sawah	$V = 8.762(s)^{0.5}$
Padang rumput pendek	$V = 6.962(s)^{0.5}$
Hutan tanaman, Hutan Lahan kering	$V = 5.032(s)^{0.5}$
Hutan lebat dan padang rumput tinggi	$V = 2.516(s)^{0.5}$

* V : Kecepatan aliran; s : Kemiringan

Tabel 9 Hasil perhitungan waktu tempuh dihitung berdasarkan persamaan waktu tempuh NRCS

Stasiun	s	V	l	Waktu Tempuh
Hulu ke Katulampa	0.25	2.5	23540	2.60
Katulampa ke Kampung Kelapa	0.15	2.7	31320	3.23
Kampung Kelapa ke Depok	0.15	2.7	10690	1.10
Depok ke M. Haryono	0.02	1.4	39230	7.73
MT. Haryono ke Manggarai	0.02	2.3	7890	0.96
Manggarai ke Hilir	0.02	2.9	14560	1.41

Waktu tempuh yang dihasilkan oleh metode Travel Time dari satu titik ke titik lainnya beragam. Air yang mengalir melalui Depok ke MT Haryono membutuhkan waktu tempuh yang paling lama. Hal ini sangat dipengaruhi oleh jarak antara kedua titik merupakan yang terjauh dibandingkan dengan jarak antar lokasi lain. Total waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari hulu sampai ke hilir dengan metode ini yaitu sekitar 17 jam.

Metode Velocity (NCRS)

NRCS USDA (2010) menyebutkan bahwa waktu tempuh adalah durasi atau jumlah waktu yang dibutuhkan oleh air untuk bergerak dari satu titik lokasi ke titik lokasi lainnya. Wardhana (2017) juga mengungkapkan bahwa waktu tempuh merupakan komponen dari waktu konsentrasi yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan oleh limpasan untuk bergerak secara hidrolik dari titik terjauh suatu DAS ke titik outlet sehingga dapat disimpulkan bahwa titik dengan waktu tempuh terpanjang merupakan titik lokasi terjauh dari titik outlet DAS. Metode kecepatan NRCS menerapkan konsep fisik bahwa waktu tempuh adalah fungsi dari panjang aliran limpasan dan kecepatan aliran (Fang et al. 2007). Parameter yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah panjang sungai, curah hujan maksimum, koefisien jenis permukaan, dan kemiringan lahan, Meskipun terdapat berbagai parameter, Fang et al. 2006 menyatakan bahwa panjang sungai dan koefisien jenis permukaan (n) merupakan parameter paling penting dalam penentuan waktu tempuh dengan metode velocity.

$$T_t = \frac{0.007(nl)^{0.8}}{(P_2)^{0.5}S^{0.4}}$$

Keterangan:

- T_t : Waktu Tempuh, (jam) n : Koefisien jenis permukaan
 l : Panjang sungai, (m) S : Kemiringan lahan, (%)
 P_2 : Curah hujan harian maksimum, 2-tahun

Tabel 10 Hasil perhitungan waktu tempuh dihitung berdasarkan persamaan velocity

Stasiun	n	l	P_2	S	Waktu Tempuh
Hulu ke Katulampa	0.8	23540	112	0.25	3.0
Katulampa ke Kampung Kelapa	0.41	31320	96	0.15	3.0
Kampung Kelapa ke Depok	0.41	10690	86	0.15	1.3
Depok ke M. Haryono	0.41	39230	105	0.02	7.6
MT. Haryono ke Manggarai	0.17	7890	86	0.02	1.1
Manggarai ke Hilir	0.17	14560	86	0.02	1.9

Total waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir sungai Ciliwung menggunakan metode Velocity (NRCS) adalah 17.9 jam. Hasil waktu tempuh yang diperoleh ini tidak jauh berbeda dengan metode Travel Time. Waktu tempuh yang dibutuhkan memiliki urutan yang hampir sama yaitu Depok ke MT Haryono, Katulampa ke Kampung Kelapa, Hulu ke Katulampa, Manggarai ke Hilir, Kampung Kelapa ke Depok, dan MT. Haryono ke Manggarai.

Pengembangan Model Waktu Tempuh

Hubungan Debit dengan Curah Hujan

Pengembangan model untuk menentukan nilai debit dari curah hujan pada penelitian ini menggunakan persamaan metode rasional yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Metode ini dikembangkan dengan cara menentukan luasan tutupan lahan disepanjang DAS Ciliwung, sehingga pada masing-masing sub-DAS dapat diketahui berapa luasan dari masing-masing tutupan lahan tersebut. Luas tutupan dan jenis tutupan lahan tersebut dinilai perlu karena dalam metode rasional menggunakan koefisien runoff dimana yang terpengaruh oleh jenis tutupan lahan. Secara rinci, pengembangan model dapat dilihat pada langkah-langkah berikut:

Langkah 1. Persamaan dasar dari metode rasional yang dapat menjelaskan hubungan antara debit dan curah hujan secara umum adalah sebagai berikut:

$$Q = C . I . A$$

Q : Debit aliran (m³/s)

C : Koefisien runoff

I : Curah hujan, (mm/hari)

A : Luas DAS (m²)

Untuk koefisien runoff dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 11 Nilai koefisien limpasan berdasarkan jenis tutupan lahan

Tutupan Lahan	Koefisien Runoff, C
Semak Belukar	0.05 - 0.35
Hutan	0.05 - 0.25
Tanah dibudidayakan	0.08-0.41
Padang rumput	0.1 - 0.5
Sawah	0.1 - 0.25
Tanah Kosong/Gundul	0.12 - 0.62
Area pemukiman	0.3 - 0.75
Kawasan bisnis dan industri	0.5 - 0.95
Jalan aspal	0.7 - 0.95
Jalan-jalan bata	0.7 - 0.85
Jalan aspal	0.75 - 0.95

Langkah 2. Untuk setiap outlet pengukuran debit, dipengaruhi oleh nilai curah hujan yang berbeda, berdasarkan tipe iklim wilayah tangkapan hujan tersebut. Maka untuk mendapatkan nilai debit berdasarkan tipe curah hujan tersebut, hubungan persamaan debit dengan curah hujan dijelaskan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = C^1 . I^1 . A^1 + C^2 . I^2 . A^2 + \dots + C^n . I^n . A^n$$

Langkah 3. Untuk masing-masing curah hujan wilayah, memiliki nilai koefisien runoff yang berbeda-beda berdasarkan jenis tutupan lahan. Sehingga untuk mendapatkan nilai koefisien pada masing-masing curah hujan wilayah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_Q = \frac{\text{Luas landuse A} . C_A + \text{Luas landuse B} . C_B + \dots + \text{Luas landuse n} . C_n}{\text{Total Luas landuse}}$$

Hubungan Kecepatan Aliran Dengan Debit

Langkah 1. Nilai debit dapat ditentukan dengan menggunakan kecepatan aliran, yaitu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = \sqrt{2 . g . \Delta h}$$

$$V = 4.43\sqrt{\Delta h}$$

V : Kecepatan aliran (m²/s)

g : Kecepatan gravitasi (9.8 m²/s)

Δh : Ketinggian aliran

Langkah 2. Debit rata-rata aliran diperoleh berdasarkan pengukuran kedalaman dan kecepatan di seluruh bagian melintangnya dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A . V$$

Hubungan Debit dengan Curah Hujan dipengaruhi Retensi Tanah

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Untuk mencari Retensi tanah dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25.4}}$$

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN}$$

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

Nilai CN dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 12 Nilai CN untuk jenis tutupan lahan berupa lahan pertanian

Deskripsi Tutupan Lahan			CN Kondisi Hidrologi Kelompok Tanah			
Tipe Tutupan	Perlakuan	Kondisi Hidrologi	A	B	C	D
Tanah Kosong	Tanah Gundul	---	77	86	91	94
	Sisa Tanaman (CR)	Buruk	76	85	90	93
		Baik	74	83	88	90
Tanaman Baris	Baris Lurus (SR)	Buruk	72	81	88	91
		Baik	67	78	85	89
	SR + CR	Buruk	71	80	87	90
		Baik	64	75	82	85
	Berkontur (C)	Buruk	70	79	84	88
		Baik	65	75	82	86
	C + CR	Buruk	69	78	83	87
		Baik	64	74	81	85
	Berkontur dan bertingkat (C & T)	Buruk	66	74	80	82
		Baik	62	71	78	81
	(C & T) + CR	Buruk	65	73	79	81
		Baik	61	70	77	80
Tanaman Gandum	SR	Buruk	65	76	84	88
		Baik	63	75	83	87
	SR + CR	Buruk	64	75	83	86
		Baik	60	72	80	84
	C	Buruk	63	74	82	85
		Baik	61	73	81	84
	C + CR	Buruk	62	73	81	84
		Baik	60	72	80	83
	C & T	Buruk	61	72	79	82
		Baik	59	70	78	81
C & T + CR	Buruk	60	71	78	81	
	Baik	58	69	77	80	
Tanaman Biji-bijian atau Kacang-kacangan atau Padang Rumput	SR	Buruk	66	77	85	89
		Baik	58	72	81	85
	C	Buruk	64	75	83	85
		Baik	55	69	78	83
	C & T	Buruk	63	73	80	83
Padang rumput, rerumputan, padang gembala	C & T	Baik	51	67	76	80
		Buruk	68	79	86	89
	Padang rumput bukan untuk gembala dan dipangkas untuk dijadikan jerami	Cukup	49	69	79	84
Baik		39	61	74	80	
Semak belukar, rumput tinggi dengan belukar	Padang rumput bukan untuk gembala dan dipangkas untuk dijadikan jerami	Baik	30	58	71	78
		Buruk	48	67	77	83
	Semak belukar, rumput tinggi dengan belukar	Cukup	35	56	70	77
Baik		30	48	65	73	

Kombinasi rumput-kayu (kebun atau pepohon)	Buruk	57	73	82	86
	Cukup	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Tanaman kayu-kayuan	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Bangunan di Ladang pertanian, jalur, jalanan kendaraan, dan area sekitarnya	---	59	74	82	86
Jalan (termasuk kanan jalan):					
Tanah	---	72	82	87	89
Kerikil	---	76	85	89	91

Tabel 13 Nilai CN untuk jenis tutupan lahan berupa hutan

Deskripsi Tutupan Lahan	Kondisi Hidrologi	CN Kondisi Hidrologi Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Herba — campuran rumput, gulma dan belukar yang tumbuh rendah, dengan komposisi belukar yang minim	Buruk		80	87	93
	Cukup		71	81	89
	Baik		62	74	85
Oak-aspen — campuran belukar dan belukar tanaman ek, aspen, mahoni, maple, dan belukar lainnya	Buruk		66	74	79
	Cukup		48	57	63
	Baik		30	41	48
Pinyon-juniper — pinyon, juniper, atau keduanya; rumput understory	Buruk		75	85	89
	Cukup		58	73	80
	Baik		41	61	71
Rumput sage — sage dengan lapisan rumput	Buruk		67	80	85
	Cukup		51	63	70
	Baik		35	47	55
Semak gurun — tanaman utama termasuk saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, paloverde, mesquite, dan kaktus	Buruk	63	77	85	88
	Cukup	55	72	81	86
	Baik	49	68	79	84

Tabel 14 Nilai CN untuk tutupan lahan berupa Perkotaan

Deskripsi Tutupan Lahan	Rata-rata persentase Ketahanan area	CN untuk Kondisi Hidrologi Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Jenis penutup dan kondisi hidrologi					
Daerah perkotaan yang dikembangkan sepenuhnya (tumbuhan dikembangkan)					
Ruang terbuka (rumput, taman, lapangan golf, kuburan, dll.)					
	Kondisi buruk (penutup rumput <50%)	68	79	86	89
	Kondisi cukup (penutup rumput 50% - 75%)	49	69	79	84
	Kondisi baik (penutup rumput > 75%)	39	61	74	80
Daerah kedap air:					
	Tempat parkir beraspal, atap, jalur, dll. (Tidak termasuk jalan)	98	98	98	98
Jalan dan jalan raya:					
	Diaspal; curbs and storm sewers (Tidak termasuk jalan)	98	98	98	98
	Diaspal; parit terbuka (Termasuk jalan)	83	89	92	93
	Kerikil (Termasuk jalan)	76	85	89	91
	Tanah (Termasuk jalan)	72	82	87	89
Area perkotaan gurun barat:					
	Lansekap gurun alam (hanya daerah belantara)	63	77	85	88
	Lansekap gurun buatan (penghalang gulma yang tahan api, semak gurun dengan pasir atau kerikil muluk dan cekungan 1 - 2 inci)	96	96	96	96
Distrik kota:					
	Komersial dan bisnis	85	89	92	95
	Industri	72	81	88	93
Distrik pemukiman dengan ukuran luas rata-rata:					
	0.05 Ha atau kurang (Rumah)	65	77	85	90
	0.10 Ha	38	61	75	87
	0.13 Ha	30	57	72	86
	0.20 Ha	25	54	70	85

0.4 Ha	20	51	68	79	84
0.8 Ha	12	46	65	77	82
Mengembangkan daerah perkotaan					
Daerah yang baru dinilai (hanya daerah yang belang, tidak ada vegetasi)					
		77	86	91	94

Model Waktu Tempuh Dinamis

Model waktu dinamis adalah model waktu tempuh yang berubah seiring dengan perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan curah hujan, tinggi muka air, hingga kondisi tutupan lahan. Berdasarkan model dinamis ini diharapkan pada berbagai kondisi lingkungan mampu memberikan informasi perubahan waktu tempuh secara lebih akurat dan dinamis.

Langkah 1. Persamaan untuk menentukan waktu tempuh secara dinamis menggunakan turunan persamaan berikut:

$$T_t = \frac{l}{3600V}$$

$$T_t = \frac{l.A}{3600Q}$$

- T_t : Waktu Tempuh, (jam) V : Rata-rata kecepatan aliran antara 2 titik, (m/s)
- l : Jarak antara 2 titik didalam sebuah kawasan aliran, (m) 3600 : faktor konversi, (detik ke jam)
- A : Luas penampang sungai (m^2) Q : Debit aliran, (m^3/s)

Langkah 2. Berdasrakan persamaan pada langkah 1, nilai debit dipengaruhi oleh nilai curah hujan berdasarkan persamaan berikut:

$$Q = C.I.A$$

$$Q = C^1.I^1.A^1 + C^2.I^2.A^2 + \dots + C^n.I^n.A^n$$

$$C_Q = \frac{\text{Luas landuse } A . C_A + \text{Luas landuse } B . C_B + \dots + \text{Luas landuse } n . C_n}{\text{Total Luas landuse}}$$

Penjelasan masing-masing komponen langkah 2 dapat dilihat pada bagian sebelumnya

Langkah 3. Menentukan nilai debit (Q), luas penampang (A), dan waktu tempuh (Tt) pada masing-masing outlet berdasarkan masukan curah hujan.

Outlet Katulampa:

$$Q_{katulampa} = CH_{Hulu}$$

$$A_{katulampa} = L_{katulampa} * TMA_{katulampa}$$

$$T_{t1} = \frac{l * A_{katulampa}}{3600 * Q_{katulampa}}$$

Outlet Kampung Kelapa:

$$Q_{Kp.Kelapa} = CH_{Kp.Kelapa} + Q_{katulampa}$$

$$A_{Kp.Kelapa} = L_{Kp.Kelapa} * TMA_{Kp.Kelapa}$$

$$T_{t2} = \frac{l * A_{Kp.Kelapa}}{3600 * Q_{Kp.Kelapa}}$$

Outlet Depok:

$$Q_{Depok} = CH_{Depok} + Q_{Kp.Kelapa}$$

$$A_{Depok} = L_{Depok} * TMA_{Depok}$$

$$T_{t3} = \frac{l * A_{Depok}}{3600 * Q_{Depok}}$$

Outlet MT Haryono:

$$Q_{MT.Haryono} = CH_{MT.Haryono} + Q_{Depok}$$

$$A_{MT.Haryono} = L_{MT.Haryono} * TMA_{MT.Haryono}$$

$$T_{t4} = \frac{l * A_{MT.Haryono}}{3600 * Q_{MT.Haryono}}$$

Total Travel Time:

$$T_t = T_{t1} + T_{t2} + T_{t3} + T_{t4}$$

BAB 5 Kajian Waktu Tempuh Ke Wilayah Rentan Kejadian Banjir

Pemodelan Debit DAS Ciliwung Berdasarkan Curah Hujan

Pemodelan debit dilakukan menggunakan turunan persamaan rasional, dimana secara umum model ini menjelaskan bahwa jika terjadi curah hujan, maka akan menjadikan nilai debit sesuai dengan besaran volume air yang turun dalam suatu luasan DAS. Model ini sangat dipengaruhi oleh nilai koefisien limpasan, dimana tidak semua air yang masuk kedalam suatu luasan DAS akan menjadi debit secara keseluruhan, namun nilainya tergantung dari koefisien tersebut. Semakin tinggi nilai koefisien limpasan, maka akan semakin besar air yang terlimpas, begitu juga sebaliknya. Tinggi kecilnya koefisien limpasan dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan, dimana untuk lahan terbangun memiliki koefisien limpasan yang lebih tinggi dibanding dengan hutan. Secara lengkap, nilai pada masing-masing koefisien dan jenis tutupan lahan di DAS Ciliwung dapat dilihat di Tabel 15.

Tabel 15 Luas DAS, jenis tutupan lahan dan nilai koefisien limpasan DAS Ciliwung

Stasiun Pengukuran Debit	Luas Sub DAS (km ²)	Jenis Landuse	Koefisien Limpasan (C)	Luas masing-masing jenis landuse (km ²)
Katulampa	150.777	Gedung/Bangunan	0.75	0.465
		Perkebunan/Kebun	0.41	73.614
		Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.75	21.180
		Sawah	0.25	1.947
		Sungai	1	0.448
		Tanah Kosong/Gundul	0.62	0.246
		Tegalan/Ladang	0.5	2.494
		Danau/Situ	0	0.020
		Hutan Rimba	0.25	47.493
		Semak Belukar	0.35	2.871
Kampung Kelapa	74.893	Gedung/Bangunan	0.75	0.581
		Perkebunan/Kebun	0.41	4.777
		Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.75	52.874
		Sawah	0.25	7.821
		Semak Belukar	0.35	0.038
		Sungai	1	0.793
		Tanah Kosong/Gundul	0.62	0.353
		Tegalan/Ladang	0.5	7.499
		Danau/Situ	0	0.156
Depok	36.635	Danau/Situ	0	0.209
		Gedung/Bangunan	0.75	0.569
		Perkebunan/Kebun	0.41	0.407
		Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.75	31.440
		Sawah	0.25	1.483
		Tanah Kosong/Gundul	0.62	0.888
		Tegalan/Ladang	0.5	1.304
		Sungai	1	0.336
MT Haryono	66.276	Gedung/Bangunan	0.75	0.517
		Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.75	46.611
		Danau/Situ	0	0.136
		Perkebunan/Kebun	0.41	6.847
		Sawah	0.25	0.304
		Sungai	1	0.814
		Tanah Kosong/Gundul	0.62	4.029
		Tegalan/Ladang	0.5	7.016
Properti Tumpang Susun	0.75	0.003		

Berdasarkan model waktu tempuh yang dibangun, perhitungan debit dilakukan menggunakan persamaan rasional, maka didapatkan hasil seperti pada table. Terdapat beberapa simulasi, dimana

dengan memasukkan nilai curah hujan sebesar 26.2 mm pada masing-masing outlet sesuai dengan kombinasi curah hujan yang terdapat ditabel.

Tabel 16 Debit DAS Ciliwung Hasil Pemodelan

Kombinasi Kejadian Hujan	A	B	C	D	Katulampa	Kp. Kelapa	Depok	MT. Haryono
					Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
A	v				21.6	23.5	37.3	41.1
AB	v	v			21.6	40.2	54.0	57.8
AC	v		v		21.6	23.5	58.9	62.7
AD	v			v	21.6	23.5	37.3	58.6
ABC	v	v	v		21.6	40.2	75.6	79.5
ABD	v	v		v	21.6	40.2	54.0	75.3
ACD	v		v	v	21.6	23.5	58.9	80.2
ABCD	v	v	v	v	21.6	40.2	75.6	97.0
B		v			1.4	20.1	33.8	37.7
BC		v	v		1.4	20.1	55.5	59.3
BD		v		v	1.4	20.1	33.8	55.2
BCD		v	v	v	1.4	20.1	55.5	76.8
C			v		1.4	3.4	38.8	42.6
CD			v	v	1.4	3.4	38.8	60.1
D				v	1.4	3.4	17.1	38.4

Keterangan : A = hujan terjadi di Katulampa, B = hujan terjadi di Kampung Kelapa, C = hujan terjadi di Depok, D = hujan terjadi di MT Haryono. Curah hujan masukan = 26.2 mm

Selain berdasarkan model waktu tempuh yang dibangun, nilai debit pula dihitung menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Hasil keluaran model ini dijadikan sebagai data verifikasi hasil keluaran model waktu tempuh. Masukkan data perangkat lunak HEC-HMS diatur sama yaitu berupa nilai curah hujan sebesar 26.2 mm dengan berbagai kombinasi (perlakuan sama dengan masukkan data model waktu tempuh). Hasil keluaran perangkat lunak HEC-HMS dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 17 Debit DAS Ciliwung Hasil Pemodelan Perangkat Lunak HEC-HMS

Kombinasi Kejadian Hujan	A	B	C	D	Katulampa	Kp. Kelapa	Depok	MT. Haryono
					Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
A	v				21	20.2	13.7	8.5
AB	v	v			21	40.5	31.9	25
AC	v		v		21	20.2	22.7	15.9
AD	v			v	21	20.2	13.7	14.2
ABC	v	v	v		21	40.5	40.9	32.4
ABD	v	v		v	21	40.5	31.9	30.7
ACD	v		v	v	21	20.2	22.7	21.6
ABCD	v	v	v	v	21	40.5	40.9	38.1
B		v			0	20.3	18.3	16.5
BC		v	v		0	20.3	27.3	23.9
BD		v		v	0	20.3	18.3	22.2
BCD		v	v	v	0	20.3	27.3	29.6
C			v		0	0	9	7.4
CD			v	v	0	0	9	13.1
D				v	0	0	0	5.7

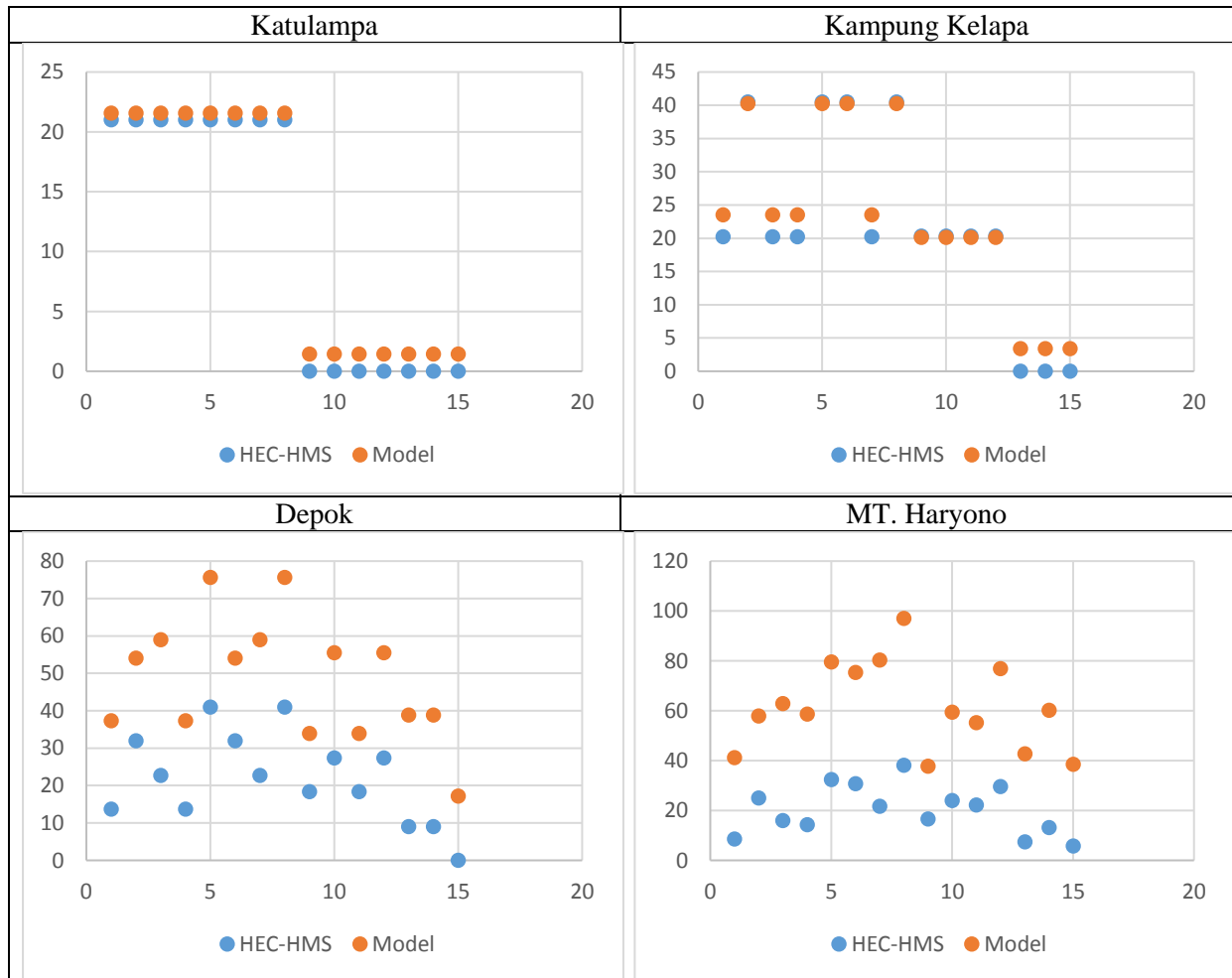
Keterangan : A = hujan terjadi di Katulampa, B = hujan terjadi di Kampung Kelapa, C = hujan terjadi di Depok, D = hujan terjadi di MT Haryono. Curah hujan masukan = 26.2 mm

Jika dibandingkan antara hasil keluaran model waktu tempuh dengan perangkat lunak HEC-HMS, terdapat perbedaan nilai debit yang dihasilkan. Perbedaan nilai inilah yang nantinya akan ditentukan koefisien koreksi untuk model waktu tempuh yang telah dibangun.

Kalibrasi Pemodelan Debit DAS Ciliwung Berdasarkan Curah Hujan

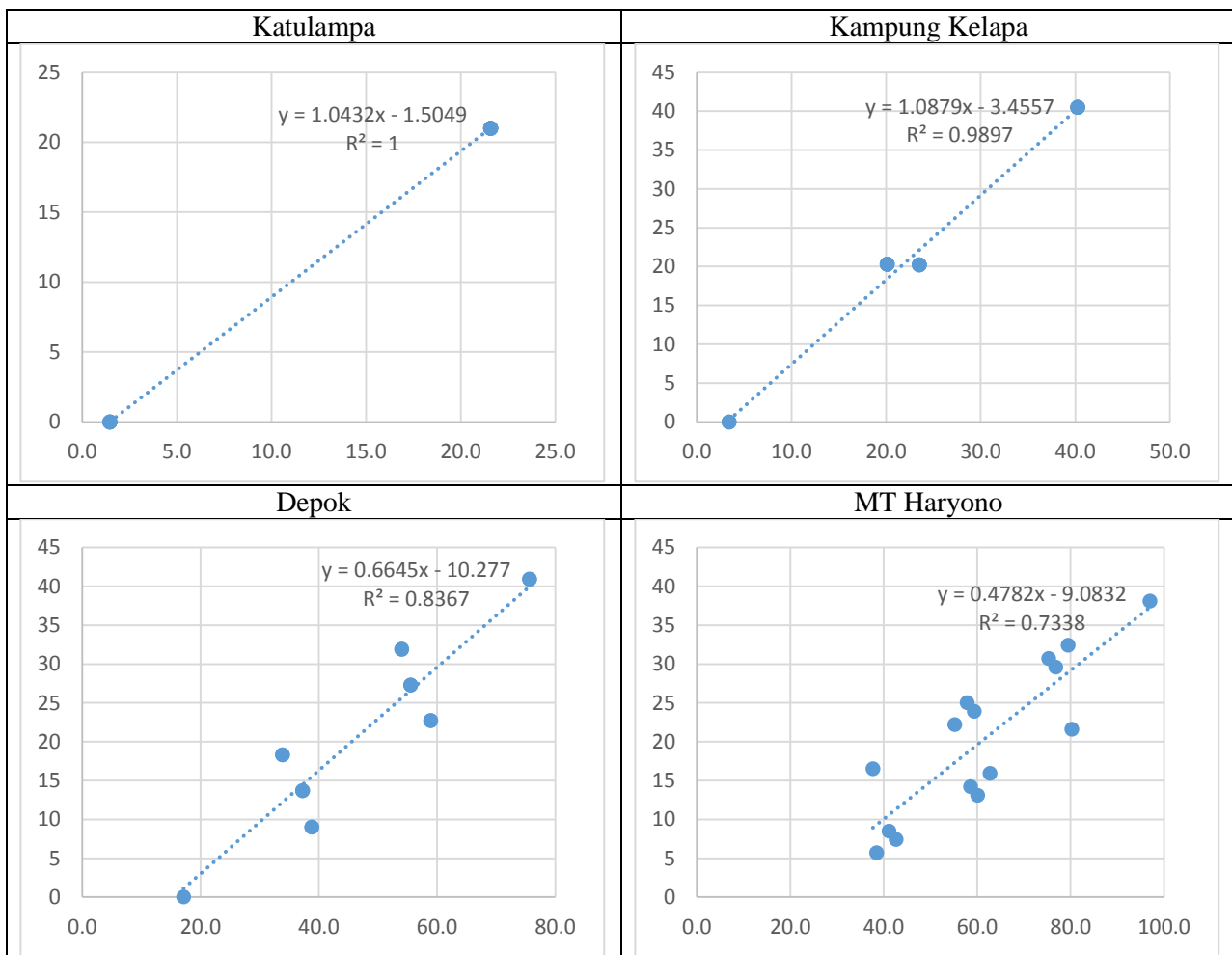
Berdasarkan hasil pendugaan debit menggunakan model yang dikembangkan (Table 12) dengan perangkat lunak HEC-HMS terdapat perbedaan hasil pendugaan debit. Untuk melihat perbedaan nilai tersebut, maka dilakukan plot data hasil pada masing-masing outlet seperti ditunjukkan pada table 14. Berdasarkan hasil plot tersebut, dapat dilihat bahwa nilai debit untuk outlet Katulampa dan Kampung Kelapa dengan berbagai simulasi kejadian curah hujan tidak memiliki perbedaan nilai yang terlalu jauh. Berbeda dengan kedua outlet berikutnya yaitu Depok dan MT Haryono, dimana terdapat gap (perbedaan) nilai antara hasil model dengan perangkat lunak HEC-HMS.

Tabel 18 Plot hasil perhitungan debit berdasarkan pemodelan dan perangkat lunak HEC-HMS



Berdasarkan hasil tersebut maka dilakukan kalibrasi dengan menentukan nilai koefisien koreksi sehingga nilai debit hasil model dapat mendekati nilai hasil keluaran perangkat lunak HEC-HMS. Penentuan nilai koefisien dilakukan dengan melakukan plotting nilai antara hasil model dengan hasil perangkat lunak HEC-HMS. Berdasarkan plotting tersebut, maka didapatkan koefisien untuk mengkalibrasi hasil model.

Tabel 19 Persamaan regresi linier untuk kalibrasi hasil perhitungan debit model berdasarkan hasil perhitungan perangkat lunak HEC-HMS



Pemodelan Waktu Tempuh Air DAS Ciliwung

Berdasarkan nilai debit yang dihitung dengan menggunakan data masukan curah hujan atau tinggi muka air, maka dapat ditentukan nilai waktu tempuh air di DAS Ciliwung. Perhitungan waktu tempuh dilakukan antara satu outlet dengan outlet lainnya, jadi data waktu yang keluar merupakan waktu tempuh dari kejadian curah hujan hingga mencapai outlet tersebut. Nilai waktu tempuh air pada masing-masing outlet dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 20 Perhitungan waktu tempuh DAS Ciliwung dari hulu hingga hilir berdasarkan beberapa skenario kejadian curah hujan

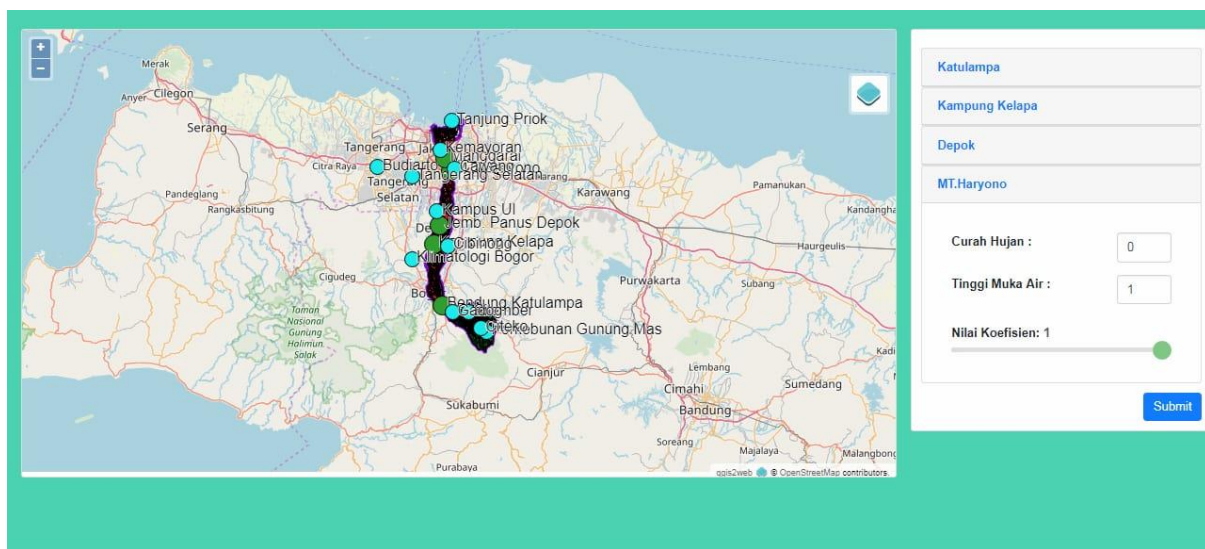
Kombinasi Kejadian Hujan	A	B	C	D	Katulampa	Kp. Kelapa	Depok	MT. Haryono
					Tt (jam)	Tt (jam)	Tt (jam)	Tt (jam)
A	v				7.3	1.6	2.2	7.2
AB	v	v			7.3	4.0	1.5	5.1
AC	v		v		7.3	1.6	2.5	4.7
AD	v			v	7.3	1.6	2.2	14.9
ABC	v	v	v		7.3	4.0	1.9	3.7
ABD	v	v		v	7.3	4.0	1.5	11.6
ACD	v		v	v	7.3	1.6	2.5	10.9
ABCD	v	v	v	v	7.3	4.0	1.9	9.0
B		v			15.9	8.0	2.5	7.8

BC		v	v		15.9	8.0	2.6	5.0
BD		v		v	15.9	8.0	2.5	15.9
BCD		v	v	v	15.9	8.0	2.6	11.4
C			v		15.9	10.8	3.7	6.9
CD			v	v	15.9	10.8	3.7	14.6
D				v	15.9	10.8	4.9	22.8

Pengembangan Sistem Perhitungan Waktu Tempuh Air DAS Ciliwung

Sistem perhitungan waktu tempuh air DAS Ciliwung dibentuk dalam bentuk website, sehingga dapat mempermudah pengguna untuk mengetahui waktu tempuh air. Sistem ini berupa perhitungan waktu tempuh dengan memasukkan utama berupa nilai curah hujan (pengamatan atau prediksi) serta nilai Tinggi Muka Air pada masing-masing outlet yang tersedia didalam sistem perhitungan.

Berikut Tampilan Sistem Perhitungan waktu tempuh air berbasis website:

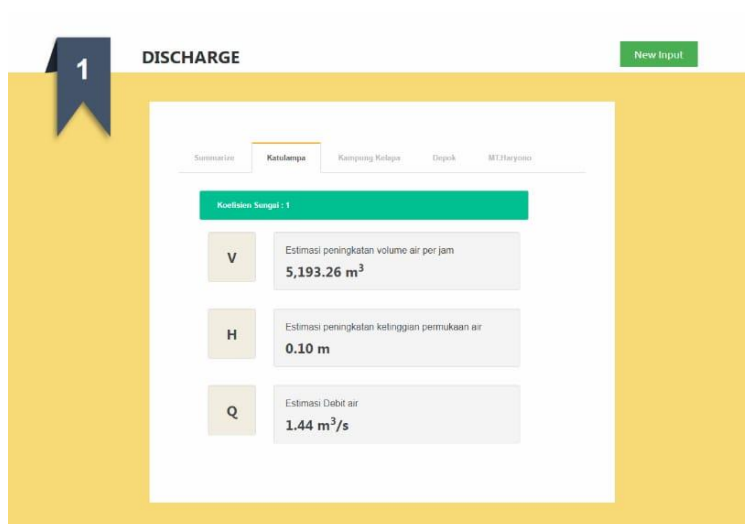


Powered by [Pi - Area](#)

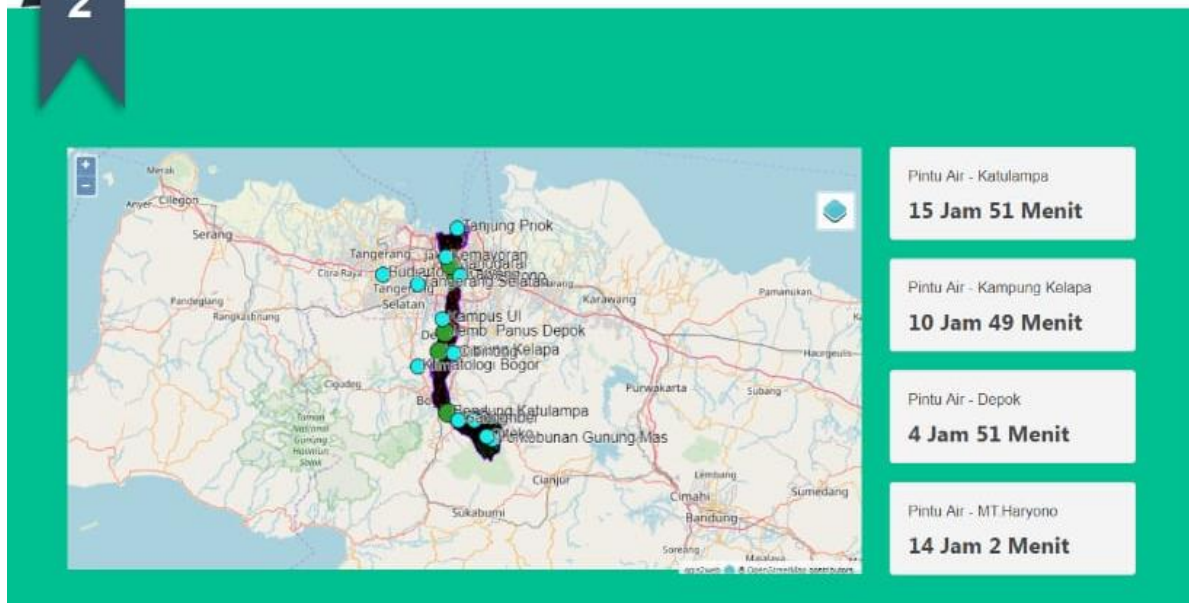
Gambar 10 Tampilan aplikasi website untuk memasukkan nilai Curah hujan dan TMA



Gambar 11 Hasil luaran aplikasi website berupa grafik nilai Volume air, Tinggi Muka air dan Debit



Gambar 12 Hasil luaran aplikasi website berupa tabel nilai Volume air, Tinggi Muka air dan Debit



Gambar 13 Hasil luaran aplikasi website berupa waktu tempuh dari hulu hingga hilir

Daftar Pustaka

- Detikcom. 2011. Beginilah cara kerja early warning system banjir di Jakarta. Diakses september, 7 2018 pada : <https://news.detik.com/berita/1758742/beginilah-cara-kerja-early-warning-system-banjir-di-jakarta>
- DIBI-BNPNB (Data Informasi Bencana Indonesia, Badan Nasional Penanggulangan Bencana). 2018. [internet]. Diakses agustus, 9 2018 pada : <http://dibi.bnpb.go.id/dibi/>
- Karwur Samuel. 2017. Menengok Sejarah Bencana BANjir Jakarta Sejak Tahun 1872 Hingga 2015 [internet]. Diakses Agustus, 8 2018 pada : <https://www.rayapos.com/menengok-sejarah-bencana-banjir-jakarta-sejak-tahun-1872-hingga-2015/>
- Galih Adipati. 2018. Sejarah BANjir di Jakarta, Sudah Ada Sejak Zaman Kerajaan Tarumanegara [internet]. Diakses Agustus, 8 2018 pada : <https://www.idntimes.com/science/discovery/eka-supriyadi/sejarah-banjir-di-jakarta-c1c2/full>
- Gunawan dan Restu. 2010. *Gagalnya Sistem Kanal : Penanggulangan Banjir Jakarta dari masa ke masa*. Jakarta (ID) : Kompas. Pada situs id.wikipedia.org
- Sahroji. 2017. Musim Hujan Datang, Ini Sejarah Banjir Terparah yang Pernah Terjadi di Jakarta [internet]. Diakses Agustus, 8 2018 pada: <https://news.okezone.com/read/2017/10/12/338/1794071/musim-hujan-datang-ini-sejarah-banjir-terparah-yang-terjadi-di-jakarta>
- Team Merah Sakethi. 2010. *Mengapa Jakarta Banjir*. Jakarta (ID) : PT Mirah Sakethi
- USDA-NRCS, 2010. National Engineering Handbook Chapter 15, Time of Concentration. , pp.1–15.
- WHO (World Health Organization). 2007. Floods in Jakarta, Banten, and West Java Province, Republic Indonesia. *Emergency Situation report #6*
- Zamroni F, Sholichin M, Primantyo AH. 2015. Analisa pengendalian banjir kali ciliwung ruas jembatan MT.Haryono –Pintu Air Manggarai. *Jurnal Teknik Pengairan*. 6(1) : 1-13

Lampiran 1 Survei Lapang Kondisi Outlet

1. Hasil Survei Lapang

No.	Jam Ukur	Outlet	Lebar Sungai (m)	TMA (m)	Pengulangan	Kecepatan Aliran (m/s)	Jenis Tutupan Lahan
1	09.00	Katulampa	33.486	0.310	Titik 1	0.1	Pepohonan, Semak kecil, Rumah penduduk
2	10.40	Kampung Kelapa	8.698	0.125	Titik 1	0.4 - 0.5	Pepohonan, Semak rimbung
	10.50				Titik 2	0.3 - 0.4	
3	12.00	Depok	28.026	0.500	Titik 1	0.2	Pepohonan, Semak kecil, rumput, rumah penduduk
	12.20				Titik 2	0.5	
4	14.40	MT. Haryono	21.965	1.670	Titik 1	0.1	Jembatan, Gedung
					Titik 2	0.2	
5	15.31	Manggarai		5.750			Pemukiman, Pabrik
		. Pintu air BKT	15.014		Titik 1	0.1 - 0.3	
		. Pintu air Ciliwung	5.02		Titik 2	0.1	

2. Dokumentasi Survei Lapang

a. Outlet Katulampa



b. Outlet Kampung Kelapa



c. Outlet Depok



d. Outlet MT. Haryono

