

TESIS

**ANALISIS PERSAMAAN LENGKUNG DEBIT
PADA POS DUGA AIR DI HULU SUNGAI
WADUK KEDUNGOMBO**

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (M.T.)



Oleh :

ANANDA DWI SETIAWAN KRESFIAPRILIANTO

NIM : 20202000004

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2023

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

**ANALISIS PERSAMAAN LENGKUNG DEBIT
PADA POS DUGA AIR DI HULU SUNGAI
WADUK KEDUNGOMBO**

Disusun oleh :

ANANDA DWI SETIAWAN KRESFIAPRILIANTO

NIM : 20202000004

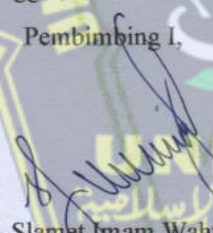
Telah diperiksa dan disetujui oleh :


Tanggal, 2022

Tanggal, 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Slamet Imam Wahyudi, DEA


Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT, Ph.D

NIK. 210291014

NIK. 210296020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

ANALISIS PERSAMAAN LINGKUNG DEBIT
PADA POS DUGA AIR DI HULU SUNGAI
WADUK KEDUNGOMBO

Disusun oleh :

ANANDA DWI SETIAWAN KRESFIAPRILIANTO

NIM : 20202000004

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
23 Februari 2023

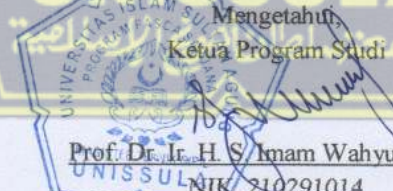
Tim Penguji:

1. Ketua
Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA
2. Anggota
Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT., Ph. D
3. Anggota
Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM., MT


Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 2023

Mengetahui,
Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA
NIK. 210291014

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Ir. H. Rachmat Mudryono, MT., Ph.D
NIK. 210293018

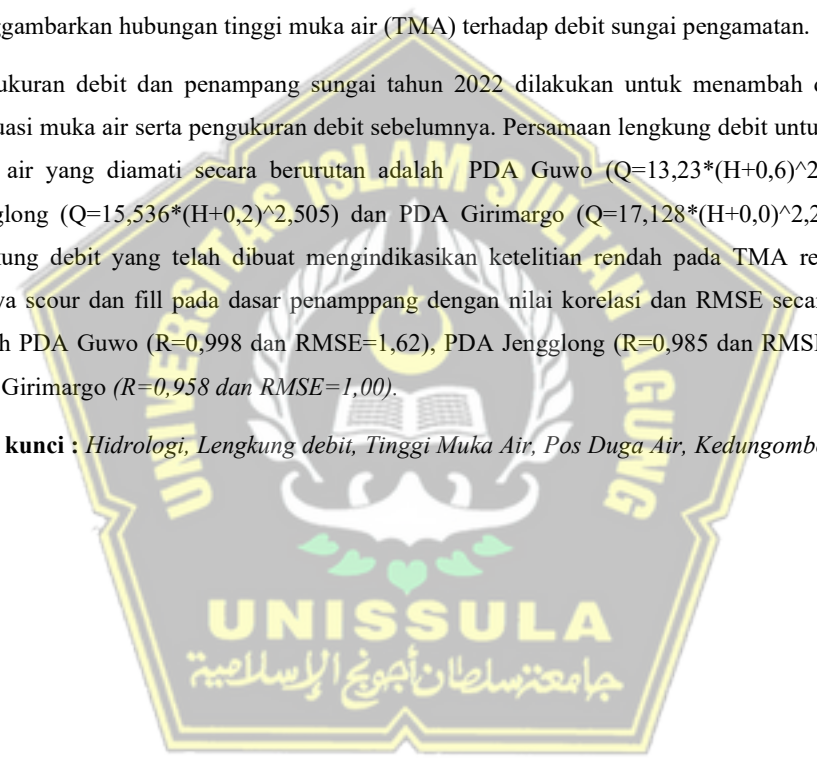
ABSTRAK

Waduk kedungombo merupakan waduk terbesar pada Daerah aliran Sungai (DAS) Serang-Lusi dan Wilayah sungai (WS) Jratunseluna di Jawa Tengah. Pencatatan Tinggi Muka Air (TMA) dan Debit pada hulu sungai yang masuk ke waduk dilakukan pada pos duga air Guwo (Sungai Serang), Jengglong (Sungai Laban) dan Girimargo (Sungai Uter) di Hulu Sungai Waduk Kedungombo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penampang sungai, fluktuasi muka air, persamaan lengkung debit dan evaluasi persamaan yang ada pada lokasi pengamatan di pos duga air tersebut.

Analisis lengkung debit (*Rating Curve*) yang dilakukan menggunakan analisis logaritmik berdasarkan acuan dari WMO, WSC dan Kementerian PUPR. *Rating Curve* ini akan menggambarkan hubungan tinggi muka air (TMA) terhadap debit sungai pengamatan.

Pengukuran debit dan penampang sungai tahun 2022 dilakukan untuk menambah data historis fluktuasi muka air serta pengukuran debit sebelumnya. Persamaan lengkung debit untuk ketiga pos duga air yang diamati secara berurutan adalah PDA Guwo ($Q=13,23*(H+0,6)^{2,432}$), PDA Jengglong ($Q=15,536*(H+0,2)^{2,505}$) dan PDA Girimargo ($Q=17,128*(H+0,0)^{2,203}$). Ketiga lengkung debit yang telah dibuat mengindikasikan ketelitian rendah pada TMA rendah akibat adanya scour dan fill pada dasar penampang dengan nilai korelasi dan RMSE secara berurutan adalah PDA Guwo ($R=0,998$ dan $RMSE=1,62$), PDA Jengglong ($R=0,985$ dan $RMSE=0,44$) dan PDA Girimargo ($R=0,958$ dan $RMSE=1,00$).

Kata kunci : Hidrologi, Lengkung debit, Tinggi Muka Air, Pos Duga Air, Kedungombo, Serang



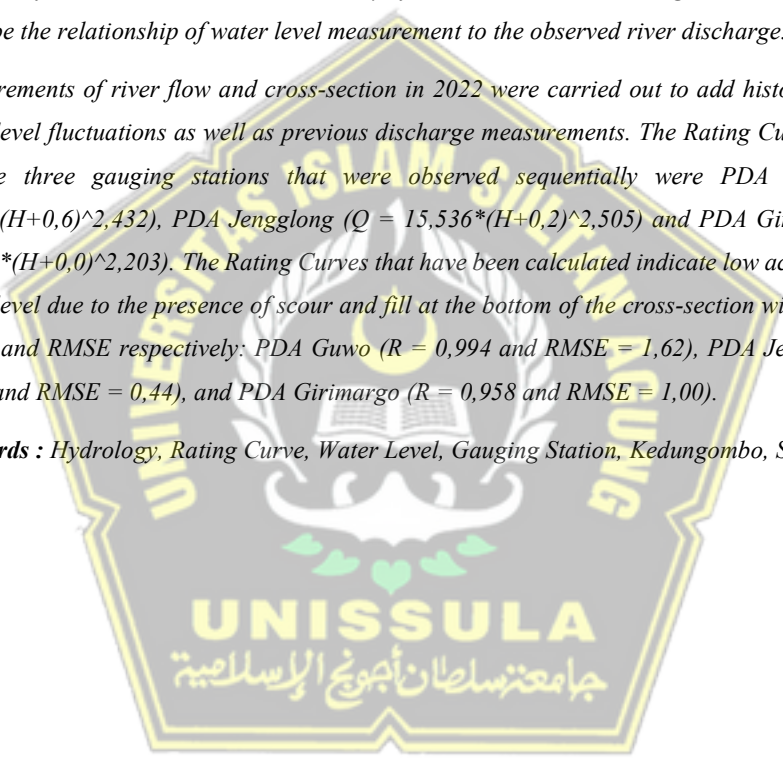
ABSTRACT

Kedungombo reservoir is the largest reservoir in the Serang-Lusi watershed, Jratunseluna river basin, Central Java. Water level and discharge in the upstream river entering the reservoir were measured at 3 Gauging Stations (AWLR Guwo -Serang River, AWLR Jengglong - Laban River, and AWLR Girimargo - Uter River).The objective of this research is to determine the river's cross section, analyse changes in water level, calculate the equation for the Rating Curve, and assess the accuracy of the present equations at the observation site.

The discharge curve analysis (Rating Curve) was carried out using logarithmic analysis based on references from WMO, WSC and the Ministry of Public Works and Housing. This Rating Curve will describe the relationship of water level measurement to the observed river discharge.

Measurements of river flow and cross-section in 2022 were carried out to add historical data on water level fluctuations as well as previous discharge measurements. The Rating Curve equations for the three gauging stations that were observed sequentially were PDA Guwo ($Q = 13,23(H+0,6)^{2,432}$), PDA Jengglong ($Q = 15,536*(H+0,2)^{2,505}$) and PDA Girimargo ($Q = 17,128*(H+0,0)^{2,203}$). The Rating Curves that have been calculated indicate low accuracy at low water level due to the presence of scour and fill at the bottom of the cross-section with correlation values and RMSE respectively: PDA Guwo ($R = 0,994$ and $RMSE = 1,62$), PDA Jengglong ($R = 0,985$ and $RMSE = 0,44$), and PDA Girimargo ($R = 0,958$ and $RMSE = 1,00$).*

Keywords : *Hydrology, Rating Curve, Water Level, Gauging Station, Kedungombo, Serang*



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ananda Dwi Setiawan Kresfiapriyanto

NIM : 20202000004

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

Analisis Persamaan Lengkung Debit pada Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau Sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 6 Maret 2023



(Ananda Dwi Setiawan K.)

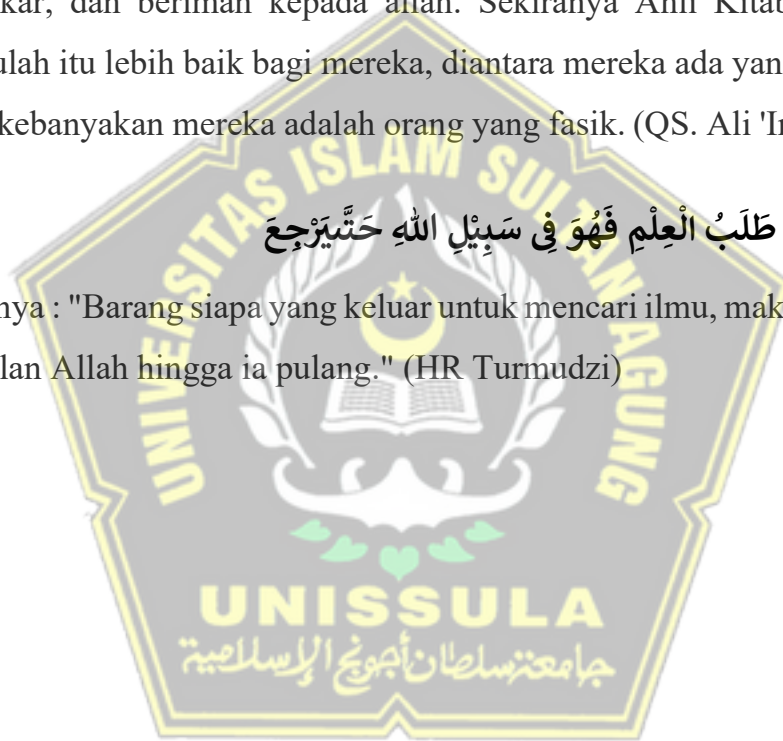
MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ
وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ
وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Artinya “ Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, meyuruh kepada yang ma’ruf dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, diantara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang yang fasik. (QS. Ali 'Imran: 110)

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ حَتَّى يَرْجِعَ

Artinya : "Barang siapa yang keluar untuk mencari ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang." (HR Turmudzi)



PERSEMBAHAN

Tesis ini Saya persembahkan untuk mereka:

1. Orangtua tercinta, Bapak Kresnanto dan Ibu Endah Safitrie
2. Kakak saya Intan Nofika Mustikasari
3. Seluruh rekan yang telah membantu saya pada penelitian tesis ini

Serta

“Saya mendedikasikan tesis ini untuk ilmu pengetahuan teknik sipil sebagai ibadah saya kepada Allah Subhana wa Ta’ala”



KATA PENGANTAR

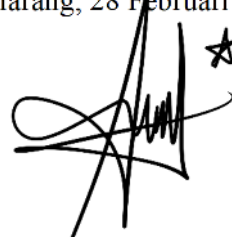
Puji Syukur Penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat segala rahmat dan kehendak-Nya Penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan judul “Analisis Persamaan Lengkung Debit pada Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo”. Laporan merupakan salah satu syarat dalam upaya penulis memperoleh gelar derajat Strata 2 pada (S2) Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi masyarakat yang berada pada lokasi studi serta lembaga terkait yang melakukan analisis lengkung debit di Daerah Aliran Sungai Serang-Lusi.

Penulis mendapat banyak sekali bimbingan, arahan, semangat dan bantuan dari berbagai pihak dalam penyusunan Tesis ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada ;

1. Prof. Dr. Ir. Slamet Imam Wahyudi, DEA selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan Dosen Pembimbing atas perhatian serta kesediaan membimbing, membantu dan mendukung penelitian ini dari awal hingga akhir.
2. Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberi masukan yang membangun dalam penyusunan laporan Tesis ini.
3. Seluruh Dosen di Lingkungan Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Orang Tua, Kakak dan Adik yang selalu memberikan doanya dan semangat setiap harinya kepada Penulis untuk menyelesaikan Tesis ini.
5. Teman-teman Program Studi Magister Teknik Sipil Angkatan 45, Khususnya Nafi Ragil, Satria Bagas, Fernanda Niko, Ian Tangguh, Adelia, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
6. Seluruh Staf dan Pengajar di Lingkungan Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

7. Seluruh Karyawan di Lingkungan Program Studi Magister Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Semarang, 28 Februari 2023



Ananda Dwi Setiawan Kresfiaprilianto



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR ISTILAH	i
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Manfaat	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gambaran Umum	6
2.1.1 Wilayah Sungai Jratunseluna.....	6
2.1.2 Daerah Aliran Sungai Serang-Lusi	8
2.1.3 Pos Duga Air di Kawasan Waduk Kedungombo	8
2.2 Pos Duga Air dan AWLR.....	9
2.2.1 Automatic Water Level Recorder (AWLR).....	11
2.2.2 Pengukuran Debit.....	13
2.3 Lengkung Debit	16
2.3.1 Lengkung Debit Sederhana	18
2.3.2 Kontrol Lengkung Debit	19
2.3.3 Penentuan Nilai H_0	23
2.3.4 Penentuan Nilai A dan B.....	24

2.3.5	Manfaat Implementasi Lengkung Debit	25
2.4	Tahap Penyusunan Lengkung Debit.....	25
2.5	Penelitian Terdahulu.....	28
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	31
3.1	Pendekatan.....	31
3.2	Lokasi Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan	32
3.4	Keperluan Data.....	33
3.5	Langkah Pelaksanaan Penelitian	34
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1	Data Sekunder dan Hasil Pengukuran	38
4.1.1	Deksripsi Lokasi Pengamatan.....	38
4.1.2	Data Sekunder	40
4.1.3	Data Primer	44
4.2	Penyusunan Lengkung Debit.....	47
4.2.1	Penentuan Nilai H_0	49
4.2.2	Perhitungan Nilai A dan B	49
4.2.3	Lengkung Debit dan Tabel Debit.....	54
4.3	Validasi dan Evaluasi Data.....	57
4.3.1	Perhitungan Nilai RMSE (Root Mean Square Error)	57
4.3.2	Perhitungan Korelasi	59
4.3.3	Evaluasi terhadap Kontrol Lengkung Debit.....	61
4.3.4	Manfaat Lengkung Debit	62
BAB 5	PENUTUP	64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	66
	LAMPIRAN.....	68

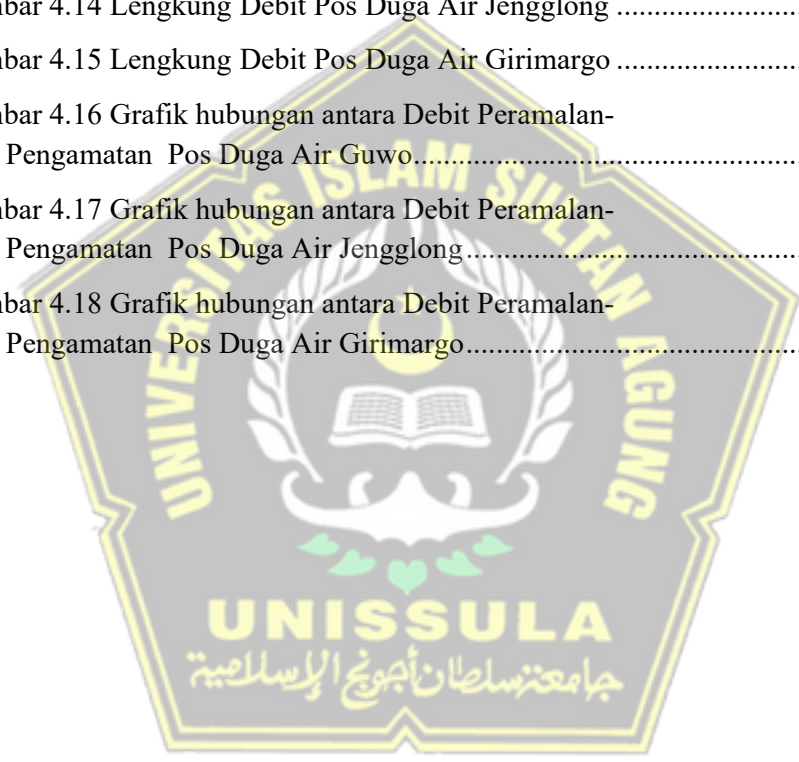
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Daftar 69 Daerah Aliran Sungai WS Jratunseluna.....	7
Tabel 2.2 Daftar Pos Duga Air Hulu Waduk Kedungombo	10
Tabel 2.3 Keaslian Penelitian.....	28
Tabel 4.1 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Guwo.....	40
Tabel 4.2 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Jengglong.....	40
Tabel 4.3 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Girimargo.....	41
Tabel 4.4 Fluktuasi Muka Air Pos Duga Air	43
Tabel 4.5 Data Tambahan Pengukuran Debit Pos Duga Air Hulu Sungai Waduk Kedungombo	44
Tabel 4.6 Tabulasi Nilai H_0	49
Tabel 4.7 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Guwo.....	49
Tabel 4.8 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Jengglong	50
Tabel 4.9 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Girimargo	50
Tabel 4.10 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Guwo	51
Tabel 4.11 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Jengglong.....	51
Tabel 4.12 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Girimargo	52
Tabel 4.13 Rekapitulasi H_0 , A, B dan Persamaan Lengkung Debit.....	54
Tabel 4.14 Tabel Debit Pos Duga Air Guwo	54
Tabel 4.15 Tabel Debit Pos Duga Air Jengglong	55
Tabel 4.16 Tabel Debit Pos Duga Air Girimargo	55
Tabel 4.17 Perhitungan Nilai RMSE – Guwo.....	58
Tabel 4.18 Perhitungan Nilai RMSE – Jenglong.....	58
Tabel 4.19 Perhitungan Nilai RMSE – Girimargo.....	59
Tabel 4.20 Rekapitulasi Nilai Varian dan Korelasi	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Wilayah Sungai Jratunseluna. dan 69 DAS.....	6
Gambar 2.2 Peta DAS Serang-Lusi	8
Gambar 2.3 Peta Genangan Waduk Kedungombo	9
Gambar 2.4 Peta Pos Duga Air DAS Serang Lusi.....	10
Gambar 2.5 Contoh Pos Duga Air (PDA Guwo).....	11
Gambar 2.6 Komponen Elektronik AWLR	11
Gambar 2.7 Skema AWLR Tipe Bandul Pelampung (Floating)	12
Gambar 2.8 Skema Sistem Telemetry.....	12
Gambar 2.9 Penampang Melintang Pengukuran Debit Metode Merawas Dengan Menggunakan Current Meter (Badan Standardisasi Nasional, 2015)	15
Gambar 2.10 Profil Melintang Penampang Sungai Hasil Pengukuran Debit Menggunakan Moving Boat Method dengan ADCP	15
Gambar 2.11 Pengaruh beberapa kondisi hidrolik lapangan terhadap lengkung debit (Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)	20
Gambar 2.12 Ilustrasi hubungan parameter kontrol dengan lengkung debit.	23
Gambar 2.13 Ilustrasi Penentuan H_0 menggunakan Persamaan.....	24
Gambar 3.1 Bagan Metodologi.....	37
Gambar 4.1 Peta Lokasi Pengamatan.....	38
Gambar 4.2 Ruas Penampang dan Dokumentasi Pengukuran Debit pada Lokasi Pengamatan (Pengamatan, 2022)	39
Gambar 4.3 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Guwo.....	42
Gambar 4.4 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Jengglong	42
Gambar 4.5 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Girimargo.....	43
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Serang – Pos Duga Air Guwo (Pengamatan, 2022).....	45
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Laban – Pos Duga Air Jengglong (Pengamatan, 2022)	45

Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Uter – Pos Duga Air Girimargo (Pengamatan, 2022)	45
Gambar 4.9 Penampang Sungai Serang – Pos Duga Air Guwo	46
Gambar 4.10 Penampang Sungai Laban – Pos Duga Air Jengglong	46
Gambar 4.11 Penampang Sungai Uter – Pos Duga Air Girimargo	46
Gambar 4.12 Contoh Lengkung Debit berdasarkan WMO (World Meteorological Organization et al., 1980).....	48
Gambar 4.13 Lengkung Debit Pos Duga Air Guwo	56
Gambar 4.14 Lengkung Debit Pos Duga Air Jengglong	56
Gambar 4.15 Lengkung Debit Pos Duga Air Girimargo	57
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara Debit Peramalan- Pengamatan Pos Duga Air Guwo.....	60
Gambar 4.17 Grafik hubungan antara Debit Peramalan- Pengamatan Pos Duga Air Jengglong.....	60
Gambar 4.18 Grafik hubungan antara Debit Peramalan- Pengamatan Pos Duga Air Girimargo.....	61



DAFTAR ISTILAH

ADCP	: Acoustic Doppler Current Profiler
ANFIS	: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
ANN	: Artificial Neural Network
AWLR	: Automatic Water Level Recorder
BBWS	: Balai Besar Wilayah Sungai
BSN	: Badan Standrardisasi Nasional
DAS	: Daerah Aliran Sungai
Ditjen	: Direktorat Jenderal
DWG	: Drawing (CAD programs filename extension)
FFEWS	: Flood Forecasting and Early Warning System
ISO	: International Organization for Standardization
Jratunseluna	: Jragung-Tuntang-Serang-Lusi-Juana
JST	: Jaringan Syaraf Tiruan
Kepres	: Keputusan Presiden
Km	: Kilometer
MCMC	: Markov chain Monte Carlo
MSE	: Mean Square Error
PBB	: Perserikatan Bangsa-bangsa
PDA	: Pos Duga Air
PDA	: Pos Duga Air
Permen	: Peraturan Menteri
PSDA	: Pengelolaan Sumber Daya Air
PUPR	: Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
RMSE	: Root Mean Square Error
SDA	: Sumber Daya Air
SHP	: Shapefile
SNI	: Standard Nasional Indonesia
SPD	: Stage-Period-Discharge
TMA	: Tinggi Muka Air
USGS	: United State Geological Survey
WMO	: World Meteorological Organization
WS	: Wilayah Sungai
WSC	: Water Survey Center

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidrologi merupakan salah satu cabang keilmuan yang mempelajari tentang air. Hidrologi mempelajari tentang air di muka bumi dalam segala bentuk baik dalam bentuk cair, gas, maupun padat. Karakteristik air tersebut kemudian dipelajari sifat, bentuk sebaran dan siklusnya di muka bumi (Salsabila & Nugraheni, 2020). Hidrologi juga membahas tentang beberapa permasalahan sumber daya air (SDA) yang sering muncul seperti banjir saat musim hujan dan kekeringan saat musim kemarau. Pos hidrologi merupakan salah satu bentuk infrastruktur yang dibangun dan dikelola sebagai bentuk pengelolaan sumber daya air (PSDA). Pos hidrologi sendiri dapat didefinisikan sebagai bangunan dan seluruh peralatannya yang lokasinya telah ditetapkan berdasarkan perencanaan jaringan hidrologi dengan beberapa tahapan survei berfungsi untuk memantau karakteristik hidrologi suatu wilayah. (Larosa et al., 2014). Pemerintah selaku pengelola sumber daya air di Indonesia, melalui Direktorat Jenderal (Ditjen) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR) melakukan pembangunan dan pengelolaan pos hidrologi termasuk pos duga air, pos curah hujan dan pos klimatologi di daerah aliran sungai pada wilayah sungai yang menjadi kewenangannya sesuai peraturan yang telah ditetapkan.

Wilayah sungai (WS) merupakan satu kesatuan pada wilayah pengelolaan sumber daya air dalam satu atau lebih daerah aliran sungai atau pulau-pulau kecil yang luasannya kurang dari atau sama dengan 2000 km². Sedangkan daerah aliran sungai (DAS) dapat diartikan sebagai suatu wilayah daratan dengan sungai dan anak-anak sungainya, berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan secara alami, yang batasan di darat DAS adalah pemisah topografis dan batasan di lautnya adalah sampai perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Satu WS dapat terdiri dari beberapa DAS baik lintas kabupaten/kota, provinsi, maupun lintas negara yang ditetapkan berdasarkan

peraturan yang dikeluarkan oleh pemerintah baik berupa keputusan presiden (Kepres) maupun peraturan menteri (Permen) yang berlaku. Setiap daerah aliran sungai pada setiap wilayah sungai memiliki karakteristik hidrologinya masing-masing dan unik sesuai dengan topografi dan kondisi-kondisi tertentu di wilayahnya.

Wilayah Sungai Jratunseluna (WS Jratunseluna) dengan luas mencapai 3604.178 km² merupakan wilayah sungai dengan luasan terbesar di Provinsi Jawa Tengah. WS Jratunseluna sendiri memiliki satu DAS terbesar bernama DAS Serang-Lusi. Beberapa infrastruktur SDA di WS Jratunseluna seperti jaringan irigasi, bendung, hingga bendungan dan waduk menjadi kewenangan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana (BBWS Pemali-Juana) selaku unit kerja dari Ditjen SDA – Kementerian PUPR. Waduk Kedungombo juga merupakan salah satu infrastruktur SDA yang terdapat di dalamnya, waduk ini merupakan waduk terbesar yang berada di WS. Jratunseluna dan DAS Serang-Lusi (Novandi et al., 2019). Maka dari itu Pengelolaan SDA pada DAS Serang-Lusi khususnya Sistem Waduk Kedungombo sangat penting dilakukan oleh lembaga dan seluruh unit didalamnya yang memiliki kewenangan.

Unit Hidrologi dan Kualitas Air BBWS Pemali-Juana merupakan unit yang mengelola Pos Hidrologi (Pos Duga Air, Pos Curah Hujan dan Pos Klimatologi) di WS Jratunseluna. Salah satu peranan Pos Hidrologi khususnya Pos Duga Air adalah untuk memantau elevasi muka air/tinggi muka air (TMA) pada lokasi pemantauan yang telah ditentukan sebelumnya dalam kegiatan Studi Rasionalisasi WS Jratunseluna. Data pencatatan TMA dapat digunakan sebagai acuan penentuan debit pada lokasi pemantauan dengan bantuan persamaan lengkung debit (*Rating Curve*) yang dihasilkan dari analisis hasil rekapitulasi pengukuran debit. Lengkung debit adalah hubungan antara pembacaan elevasi atau tinggi muka air dengan debit yang melintas pada suatu penampang/segmen sungai, lengkung debit umum digunakan untuk memperkirakan debit sungai/saluran berdasarkan bacaan elevasi atau tinggi muka air (Alizadeh et al., 2021). Hal ini akan sangat berguna salah satunya dalam sistem pemantauan debit banjir pada sistem peramalan dan peringatan dini banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System/FFEWS*).

Lengkung debit sebagai hubungan antara TMA-Debit ini dapat dinyatakan dalam suatu persamaan lengkung debit yang dapat digambarkan pada kurva lengkung debit. Perumusan persamaan dan kurva lengkung debit memerlukan tahapan yang meliputi kegiatan pengukuran debit pada musim kemarau dan musim hujan, analisis dari rekapitulasi hasil pengukuran, hingga proses pembaharuan (*Updating*) lengkung debit yang rutin dilakukan setiap tahun. Beberapa data seperti data penampang sungai, fluktuasi muka air, dan pengukuran debit dengan alat ukur debit dibutuhkan dalam penyusunan persamaan lengkung debit ini untuk menjamin keakuratannya.

Kendala yang signifikan dalam pengembangan sumber daya air di negara berkembang adalah kurangnya data debit sungai yang akurat (Negatu et al., 2022). Hal ini menjadikan akurasi dari persamaan dan kurva lengkung debit menjadi sangat penting karena digunakan untuk memperkirakan debit sungai. Akurasi yang baik dalam perumusan persamaan lengkung debit di Hulu Sungai Waduk Kedungombo juga menjadi hal vital dikarenakan waduk ini merupakan satu infrastruktur terbesar di DAS Serang-lusi, WS Jratunseluna. Maka dengan ini penulis mengajukan Tesis dengan judul Analisis Persamaan Lengkung Debit pada Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang telah dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana penampang sungai dan fluktuasi muka air pada lokasi Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi WS Jratunseluna?
- b. Bagaimana persamaan lengkung debit berdasarkan kontrol lengkung debit yang ada pada lokasi Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi WS Jratunseluna?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuan penelitiannya. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- a. Penelitian dilakukan terhadap Pos Duga Air di Hulu Waduk Kedungombo yang dikelola BBWS Pemali-Juana

- b. Lokasi Penelitian di Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi, WS Jratunseluna
- c. Metode Analisis mengacu pada Prosedur dan Instruksi Kerja yang disusun oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) serta Manual/Pedoman lain yang dikeluarkan oleh WMO, WSC, ISO, dan lain sebagainya.

1.4 Tujuan Manfaat

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut::

- a. Menentukan penampang sungai dan fluktuasi muka air pada lokasi Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi WS Jratunseluna.
- b. Mengetahui persamaan lengkung debit berdasarkan kontrol lengkung debit yang ada pada lokasi Pos Duga Air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi WS Jratunseluna.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah tersedianya persamaan dan kurva lengkung debit yang akurat pada pos duga air di Hulu Sungai Waduk Kedungombo, DAS Serang-lusi, WS Jratunseluna. Sehingga persamaan ini dapat digunakan untuk peramalan dan perkiraan debit sungai guna perhitungan debit andalan dan pemantauan debit banjir pada sistem peramalan dan peringatan dini banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System/FFEWS*) di DAS Serang-lusi.

1.5 Sistematika Penulisan

- BAB I Pendahuluan
Bab ini memuat uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, Batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan.
- BAB II Tinjauan Pustaka
Tinjauan Pustaka memuat sumber-sumber Pustaka dan acuan terkait pelaksanaan penelitian tesis. Landasan teori ini disajikan dan diuraikan secara sistematis. Bab ini berisikan penjelasan mengenai gambaran umum definisi yang digunakan, lokasi penelitian, pos duga air, lengkung debit dan tahap penyusunannya serta hipotesis dalam penelitian ini.
- BAB III Metodologi Penelitian

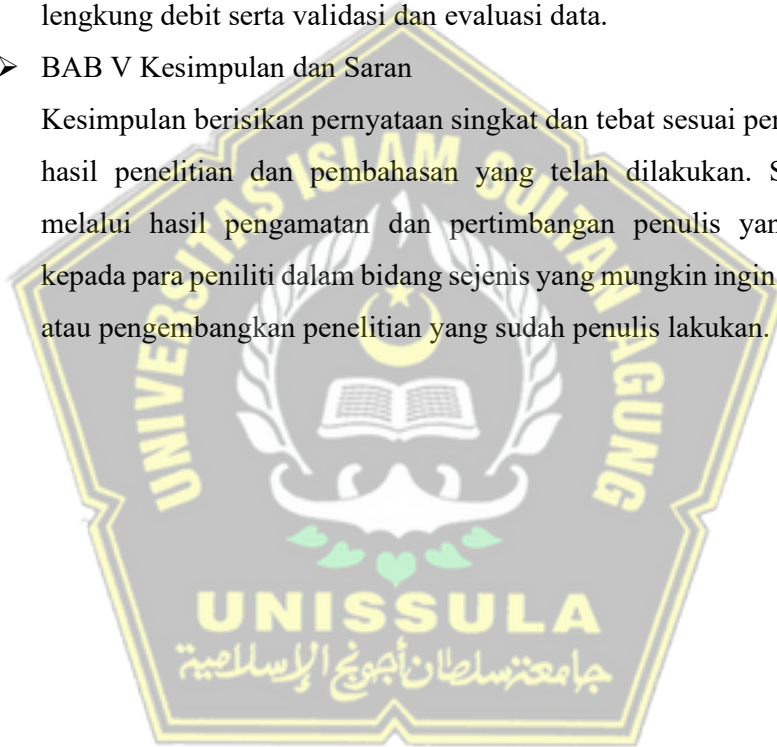
Metode penelitian berisikan uraian rinci mengenai pendekatan yang digunakan untuk meneliti lokasi penelitian, alat dan bahan dan keperluan data yang dibutuhkan serta Langkah pelaksanaan penelitian secara rinci mulai dari tahap pengumpulan data, pengolahan dan analisis data.

➤ **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Bab IV berisikan deskripsi data yang diperoleh baik primer maupun sekunder, hasil penelitian dan pembahasannya yang bersifat terpadu sesuai tujuan yang telah ditetapkan. Adapun pembahasan yang dilakukan dalam tesis ini meliputi Data sekunder dan hasil pengukuran, Penyusunan lengkung debit serta validasi dan evaluasi data.

➤ **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan berisikan pernyataan singkat dan tebat sesuai penjabaran dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan. Saran dibuat melalui hasil pengamatan dan pertimbangan penulis yang ditujukan kepada para peneliti dalam bidang sejenis yang mungkin ingin melanjutkan atau mengembangkan penelitian yang sudah penulis lakukan.



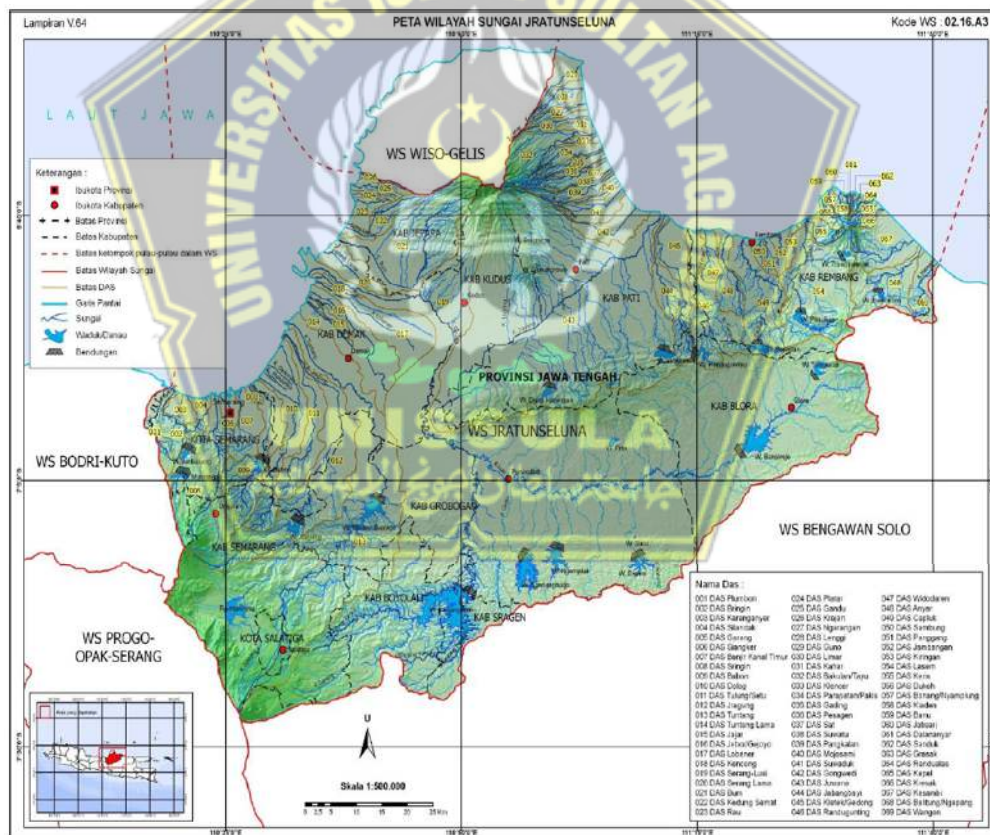
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum

2.1.1 Wilayah Sungai Jratunseluna

WS Jratunseluna merupakan salah satu Wilayah Sungai yang telah ditetapkan oleh pemerintah melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai. (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). WS Jratunseluna memiliki luas sebesar 9.576,01 km² meliputi beberapa wilayah administrasi 10 Kabupaten dan 2 Kota.



Gambar 2.1 Peta Wilayah Sungai Jratunseluna. dan 69 DAS
(BBWS Pemali Juana, 2021)

10 Kabupaten dan 2 Kota ini diantaranya adalah Kota Semarang, Kota Salatiga, Kab. Semarang, Kab. Kendal, Kab. Demak, Kab. Jepara, Kab. Kudus, Kab. Pati, Kab. Rembang, Kab. Boyolali, Kab. Grobogan dan Kab. Blora. WS Jratunseluna saat ini pengelolaannya dilaksanakan oleh BBWS Pemali Juana dan terdiri dari 69 Daerah Aliran Sungai mulai dari DAS Plumbon hingga DAS Wangon yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Daftar 69 Daerah Aliran Sungai WS Jratunseluna

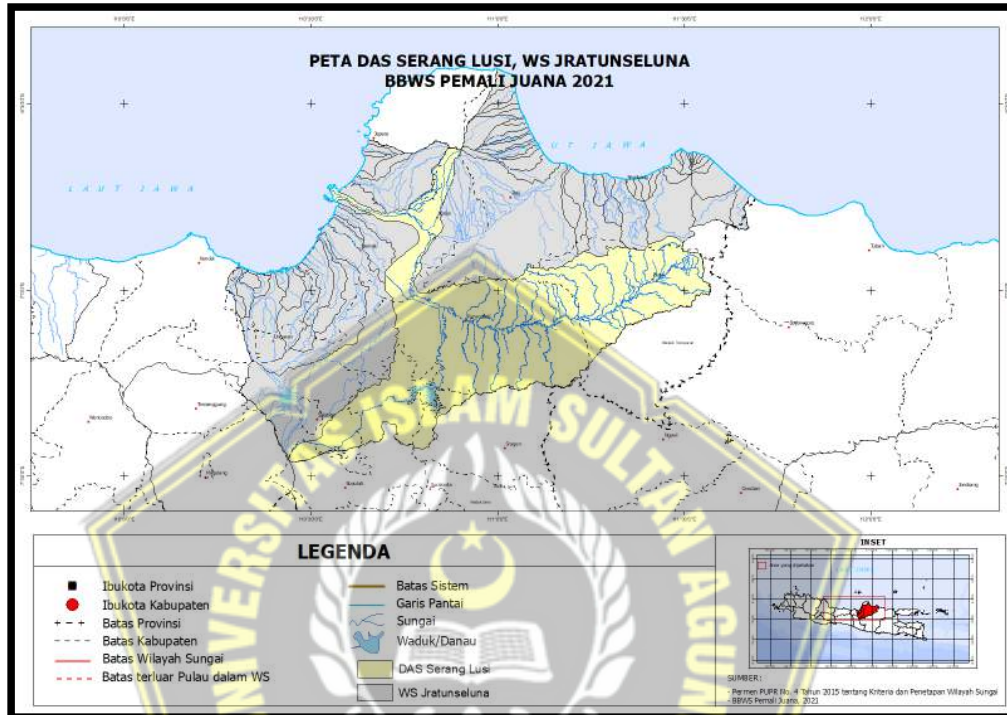
No	DAS	Luas (Km ²)	No	DAS	Luas (Km ²)	No	DAS	Luas (Km ²)
1	Plumbon	36,55	24	Platar	7,85	47	Widodaren	27,30
2	Bringin	34,01	25	Krajan	15,15	48	Anyar	51,87
3	Karang Anyar	21,14	26	Gandu	10,78	49	Capluk	138,89
4	Silandak	23,04	27	Ngarangan	31,15	50	Sambung	10,27
5	Garang	213,91	28	Lenggi	31,42	51	Panggung	11,73
6	Siangker	19,27	29	Guno	18,13	52	Jambangan	1,80
7	Banjir Kanal Timur	54,26	30	Limar	18,71	53	Kiringan	11,97
8	Sringin	6,03	31	Kahar	12,29	54	Lasem	232,77
9	Babon	128,11	32	Bakulan/Tayu	77,79	55	Das K,Ketis	21,96
10	Dolog	144,55	33	Klecer	8,89	56	Das Dukoh	12,67
11	Tulung/Setu	95,00	34	Parapatan/Pakis	27,30	57	Bonang/Nyaplun	5,74
12	Jragung	295,30	35	Gading	18,69	58	Kladen	14,67
13	Tuntang	1.027,20	36	Pesagen	11,09	59	Banu	1,78
14	Tuntang Lama	31,59	37	Sat	28,91	60	Jatisari	1,28
15	Jajar	13,52	38	Suwatu	14,01	61	Dalanayar	1,81
16	Jebor/Gejoyo	110,38	39	Pangkalan	24,65	62	Sanduk	2,60
17	Lobener	118,44	40	Mojosami	12,42	63	Grasak	3,06
18	Kenceng	11,48	41	Suwaduk	42,22	64	Randualas	3,02
19	Serang - Lusi	3.604,18	42	Gongwedi	75,17	65	Kepel	9,33
20	Serang Lama	46,97	43	Juwana	1.260,92	66	Kresak	11,46
21	Bum	261,56	44	Jabangbayi	44,64	67	Kesambi	90,17
22	Kedung Semat	42,41	45	Kletek/Gendong	88,94	68	Betung/Ngepang	98,48
23	Rau	25,19	46	Randugunting	142,63	69	Wangon	47,51

(BBWS Pemali Juana, 2021)

Penelitian kali ini akan membahas studi kasus pada DAS Serang-Lusi, dapat dilihat pada Tabel diatas bahwa DAS Serang-Lusi merupakan bagian dari WS Jratunseluna.

2.1.2 Daerah Aliran Sungai Serang-Lusi

DAS Serang-Lusi merupakan DAS dengan luasan area terbesar pada WS Jratunseluna yaitu 3.604,18 Km². Hal ini menjadikan DAS Serang-Lusi perlu diperhatikan dengan baik terkait pengelolaan sumber daya air yang ada didalamnya.

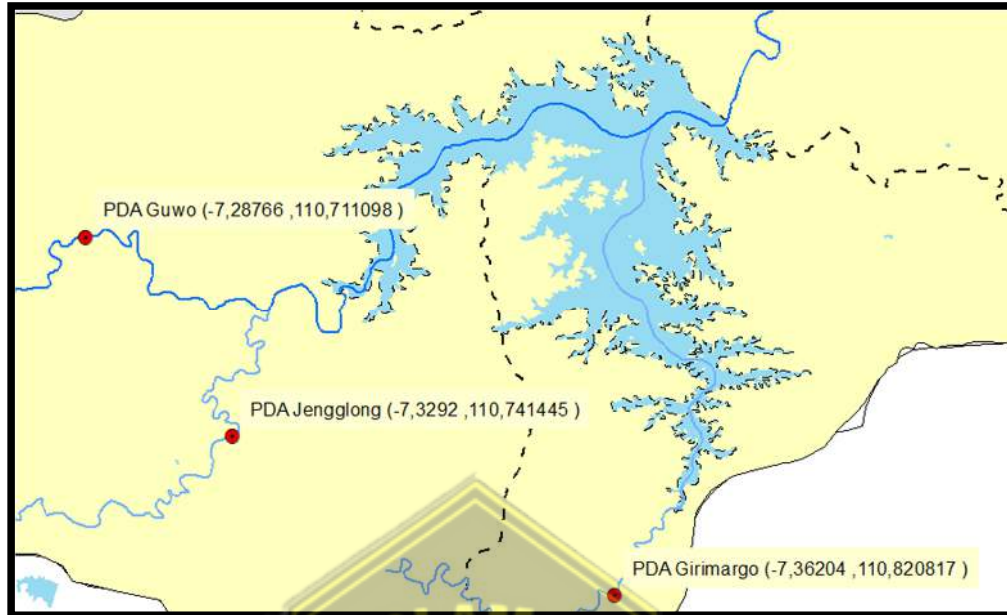


Gambar 2.2 Peta DAS Serang-Lusi
(BBWS Pemali Juana, 2021)

2.1.3 Pos Duga Air di Kawasan Waduk Kedungombo

Waduk Kedungombo merupakan Waduk Terbesar yang terdapat pada WS Jratunseluna dan merupakan waduk buatan yang pembangunannya dilakukan pada tahun 1985-1989 dengan tujuan membendung sungai-sungai yang ada di hulu sungai Serang untuk mengatasi banjir dan kekeringan di wilayah Jawa tengah. (Novandi et al., 2019). Waduk ini memiliki luas permukaan kurang lebih 47 km².

Pemantauan tinggi muka air yang dilakukan BBWS Pemali Juana selaku pengelola adalah dengan operasional Pos Duga Air yang melakukan perekaman data TMA pada hulu sungai yang masuk ke Waduk Kedungombo.



Gambar 2.3 Peta Genangan Waduk Kedungombo
(BBWS Pemali Juana, 2021)

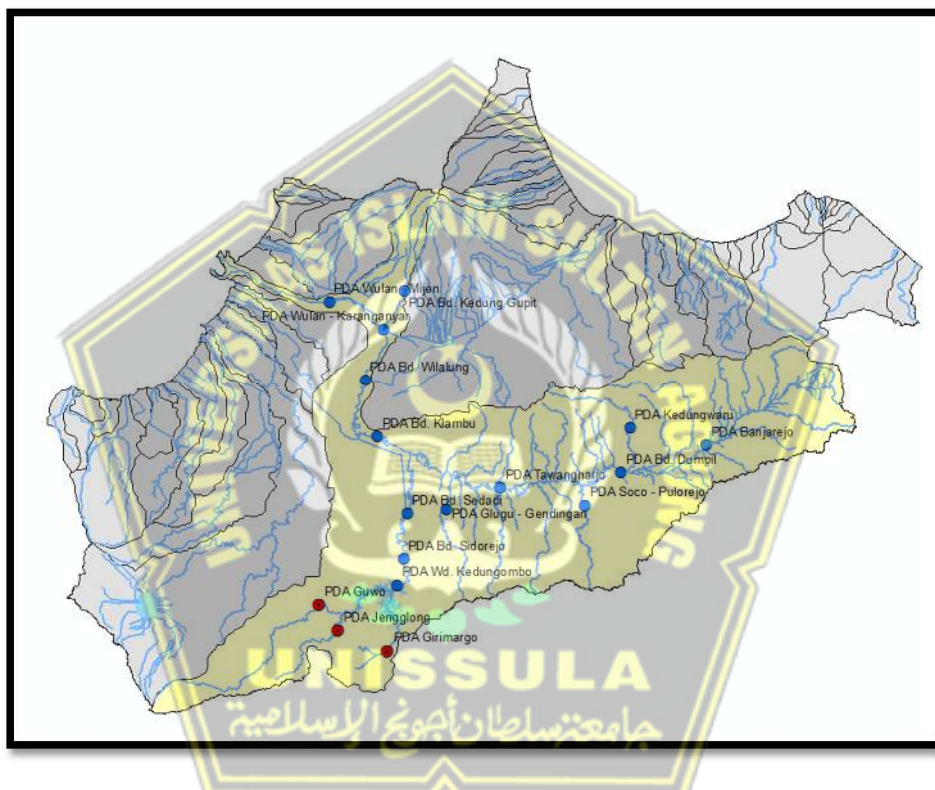
2.2 Pos Duga Air dan AWLR

Manajemen Sumber Daya air yang efisien dapat dikatakan berhasil apabila dilakukan monitoring tinggi muka air dan kualitas air didalam tanah, sungai, danau dan tampungan air lainnya. (Gujral et al., 2015). Maka dari itu perlu adanya pemetaan, pengukuran dan pemantauan pada tinggi muka air suatu sungai. Pencatatan dan perekaman data Tinggi muka air dapat dilakukan oleh pos duga air. Pos duga air sendiri merupakan bangunan beserta peralatannya yang terletak pada sungai yang dipilih untuk mengamati tinggi muka air secara sistematis dan terus-menerus yang berfungsi untuk menentukan debit (Badan Standrardisasi Nasional, 2015)

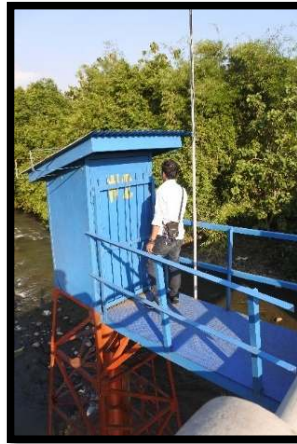
Terdapat 3 Pos Duga Air yang dikelola BBWS Pemali Juana dan beroperasi pada Hulu Waduk Kedungombo. Ketiga pos tersebut adalah Pos Duga Air Guwo, Gimargo dan Jengglong. Berikut adalah peta dan lokasi Pos Duga Air Hulu Waduk Kedungombo.

Tabel 2.2 Daftar Pos Duga Air Hulu Waduk Kedungombo

No	Nama Pos Hidrologi	Jenis Pos	Jenis Alat	Lintang	Bujur	Desa	Kec.	Kab/Kota	Sungai
1	Pos Duga Air Guwo	Duga Air	Manual & Telemetri	-7,2876	110,7110	Guwo	Kemusu	Kab. Boyolali	Serang
2	Pos Duga Air Jengglong	Duga Air	Manual & Telemetri	-7,3292	110,7414	Kadipaten	Kemusu	Kab. Boyolali	Laban
3	Pos Duga Air Girimargo	Duga Air	Manual & Telemetri	-7,3620	110,8208	Kedung Uter	Miri	Kab. Sragen	Uter



Gambar 2.4 Peta Pos Duga Air DAS Serang Lusi (BBWS Pemali Juana, 2021)



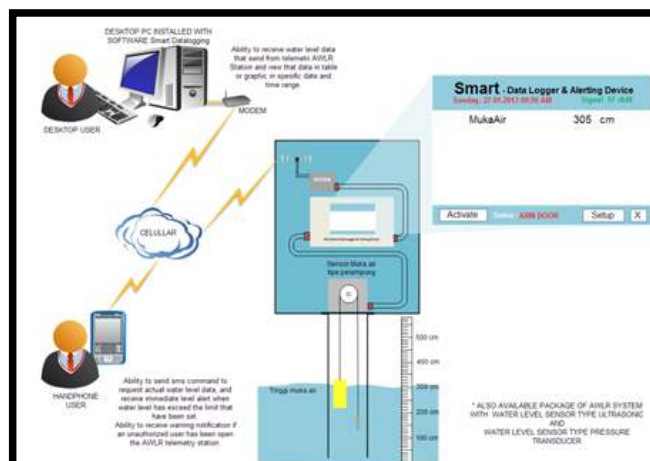
Gambar 2.5 Contoh Pos Duga Air (PDA Guwo)
(BBWS Pemali Juana, 2021)

2.2.1 Automatic Water Level Recorder (AWLR)

Automatic Water Level Recorder (AWLR) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem peringatan dini banjir dan monitoring tinggi muka air secara kontinu. Fungsi dari sensor yang terdapat pada AWLR adalah untuk membaca tinggi muka air pada saluran maupun sungai. (Asnaning & Putra, 2018). Sebagai upaya pemantauan TMA dan debit pada pos duga air, selain pembacaan dan pencatatan TMA secara manual oleh penjaga pos, AWLR digunakan sebagai alat monitor TMA jarak jauh. AWLR dapat melakukan pembacaan TMA dengan ketelitian 0.1 cm dan dapat melakukan pembacaan dengan interval 5 menit.

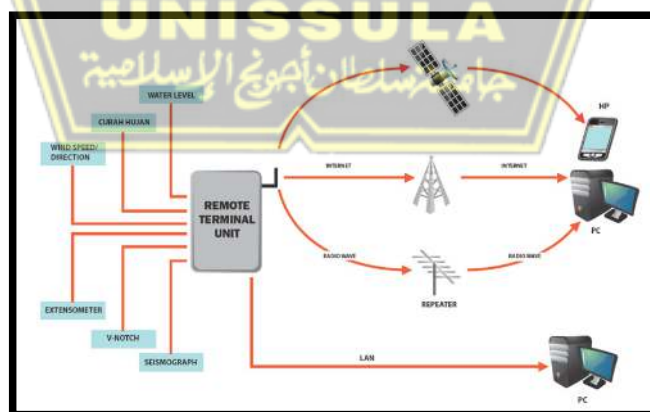


Gambar 2.6 Komponen Elektronik AWLR
(BBWS Pemali Juana, 2021)



Gambar 2.7 Skema AWLR Tipe Bandul Pelampung (Floating) (Andritechindo, 2022)

Terdapat berbagai macam tipe AWLR yang ada di pasaran, namun jenis AWLR yang digunakan pada PDA hulu waduk Kedungombo adalah dengan tipe Bandul Pelampung (floating type) dengan sistem Telemetri yang sudah dapat mengirim data secara realtime dengan sesuai interval waktu yang telah diatur. Pemantauan TMA dengan AWLR pada WS Jratunseluna saat ini menggunakan interval pembacaan 60 menit. Data pencatatan TMA tersimpan dalam Logger yang terdapat pada lokasi Pos Duga Air dan juga Server Web Monitoring BBWS Pemali Juana. AWLR sendiri berperan sebagai Remote Terminal Unit dalam sistem telemetri. Adapun skema kerja sistem telemetri dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.8 Skema Sistem Telemetri (Andritechindo, 2022)

2.2.2 Pengukuran Debit

Pengukuran debit dilakukan dengan tujuan mendapatkan data pengukuran debit sesaat. Data pengukuran debit yang diperoleh dari suatu pos duga air pada kondisi muka air rendah, muka air sedang, dan muka air tinggi selanjutnya digunakan untuk pembuatan grafik hubungan antara tinggi muka air dengan debit (*Rating Curve-Lengkung Aliran*). Penggunaan metode, peralatan, dan pemilihan lokasi pengukuran sangat berpengaruh pada kualitas data pengukuran. (United State Geological Survey (USGS) et al., 2010) & (Badan Standrardisasi Nasional, 2015)

Ada beberapa metode pengukuran debit yang sering digunakan baik pengukuran langsung maupun pengukuran tidak langsung, demikian pula peralatan yang digunakan. Pelaksanaan pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka ini merupakan cara langsung menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Penggabungan panduan ini disusun untuk memberikan acuan kepada para pengguna tentang tata cara pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus tipe baling-baling dan pelampung. (Badan Standrardisasi Nasional, 2015)

2.2.2.1 Tinggi Muka Air dan Fluktuasi

Tinggi muka air sungai/saluran terbuka adalah elevasi muka air pada suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka terhadap suatu titik elevasi tertentu. Fluktuasi muka air sendiri adalah keadaan naik turunnya muka air baik itu saluran, sungai, air tanah, maupun laut yang merupakan efek dari perubahan tinggi muka air dan debit.

2.2.2.2 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sungai/saluran terbuka dapat ditentukan dengan cara mengukur langsung dan atau dengan cara tidak langsung. Kecepatan aliran dapat diukur dengan berbagai alat, antara lain: alat ukur arus dan pelampung, atau dapat dihitung berdasarkan berbagai faktor, antara lain: faktor kekasaran, kemiringan energi dan tinggi muka air pada penampang kendali buatan.

Kecepatan aliran rata-rata di suatu bagian penampang basah diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan rata-rata dari titik kedalamananya. Kecepatan aliran rata-rata di suatu vertikal diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran satu, dua atau tiga titik, yang pelaksanaannya tergantung pada kondisi aliran, kedalaman

aliran, lebar aliran dan sarana yang tersedia. Jenis cara pengukuran tersebut adalah sebagai berikut. Operator alat ukur debit dapat menggunakan beberapa metode pembacaan kecepatan sesuai alat yang digunakan, bisa dengan pembacaan kecepatan arus pada 1 titik di 0,6d (0,6 kedalaman) apabila kedalaman air <0,75 m. Pembacaan 2 titik 0,2 & 0,8d untuk aliran >0,75m, dan pembacaan kecepatan aliran 3 titik pada 0,2;0,6 dan 0,8 d untuk kedalaman lainnya. (United State Geological Survey (USGS) et al., 2010) & (Badan Standrardisasi Nasional, 2015)

2.2.2.3 Alat Ukur Debit

A. Current Meter

Pengukuran debit dengan current meter dapat dilakukan dengan Metode Merawas. Pengukuran debit dengan cara merawas adalah pengukuran yang dilakukan tanpa bantuan wahana (perahu, kereta gantung, winch cable way dan lain-lain) yaitu petugas pengukuran langsung masuk ke dalam sungai. Pengukuran dengan cara ini perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut.

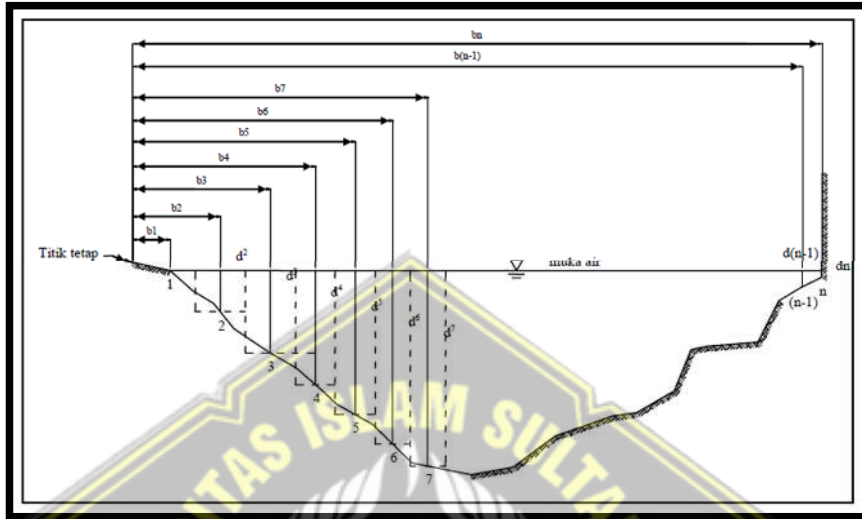
B. Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

Pengukuran debit menggunakan ADCP dapat dilaksanakan dengan bantuan perahu/kapal (*Moving Boat Method*). ADCP mengukur besar dan arah kecepatan menggunakan pergeseran Doppler dari energi akustik yang dipantulkan oleh material yang tersuspensi dalam kolom air, yang pada dasarnya memberikan profil kecepatan vertikal yang lengkap.

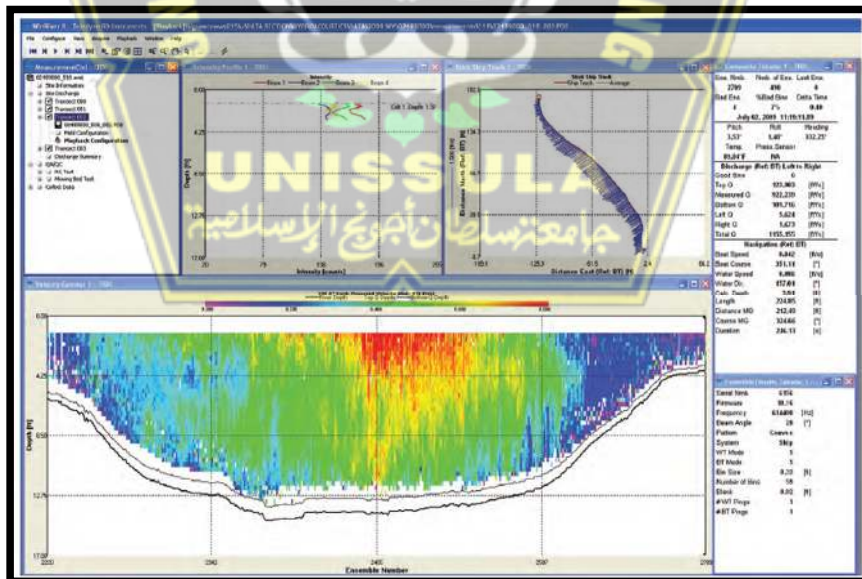
2.2.2.4 Penampang Sungai

Data penampang sungai dapat diperoleh melalui pengukuran debit baik menggunakan metode merawas dengan current meter maupun moving boat dengan ADCP. Perbedaan mendasar dari keduanya adalah untuk metode merawas, hanya didapatkan beberapa data kedalaman sungai dari beberapa pias/rai pengukuran, sedangkan pengukuran menggunakan ADCP menghasilkan data kontinu dengan jumlah data point yang banyak sehingga mendapat gambaran penampang sungai secara menyeluruh. Parameter yang menggambarkan profil dari sebuah penampang sungai adalah lebar dan kedalamannya. Pengukuran lebar sungai dilakukan dengan menggunakan alat ukur jarak. Jenis alat ukur lebar harus disesuaikan dengan lebar penampang basah dan sarana penunjang yang tersedia. Pengukuran kedalaman dilaksanakan dengan menggunakan alat ukur kedalaman di setiap vertikal yang

telah diukur jaraknya. Pada kondisi debit sungai tidak berubah dengan cepat, jarak setiap vertikal harus diusahakan serapat mungkin agar debit tiap subbagian penampang tidak lebih dari 1/5 bagian dari debit seluruh penampang basah. Hal ini tergantung dari lebar sungai dan distribusi kecepatan.



Gambar 2.9 Penampang Melintang Pengukuran Debit Metode Merawas Dengan Menggunakan Current Meter (Badan Standardisasi Nasional, 2015)



Gambar 2.10 Profil Melintang Penampang Sungai Hasil Pengukuran Debit Menggunakan Moving Boat Method dengan ADCP (Sumber : United State Geological Survey (USGS) et al., 2010)

Selain menentukan penampang sungai melalui pengukuran debit, diperlukan juga data penampang sungai diatas muka air hingga dataran banjir maupun lereng/tanggul saluran atau sungai yang di ukur. Hal ini untuk menentukan kebutuhan daripada analisis lanjutan yaitu ekstrapolasi lengkung debit jika fluktuasi muka air relatif besar dan membutuhkan kontrol saluran pada lengkung debit.

2.3 Lengkung Debit

Lengkung Debit adalah kurva yang digunakan untuk memodelkan hubungan debit sebagai fungsi dari satu atau lebih variabel. Pemahaman tentang konsep dasar aliran saluran terbuka sangat penting untuk membuat lengkung debit. Penyusunan lengkung debit membutuhkan penilaian/*(judgement)* yang tepat untuk melakukan interpolasi di antara pengukuran yang telah dilakukan serta melakukan ekstrapolasi kurva yang berada di luar jangkauan data pengukuran. (World Meteorological Organization et al., 2010) adapun beberapa definisi umum menurut Ditjen SDA Kementerian PUPR (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015) yang digunakan pada topik lengkung debit sebagai berikut :

- Debit pengukuran adalah debit yang langsung diukur di sungai/saluran terbuka.
- Lengkung debit adalah suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit sungai/saluran terbuka pada suatu penampang melintang tertentu.
- Pengukuran debit adalah proses pengukuran dan perhitungan kecepatan, kedalaman, dan lebar aliran serta perhitungan luas penampang basah, untuk menghitung debit di sungai/saluran terbuka.
- Tabel debit adalah tabel yang menyajikan data tinggi muka air dan debit hasil pembacaan lengkung debit dengan interval tinggi muka air 1 cm dan 10 cm.

Lengkung Debit (*Rating Curve*) banyak digunakan dalam penelitian untuk analisis aliran, desain struktur hidrolis dan saluran sungai, Untuk mengembangkan lengkung debit yang andal, diperlukan banyak data debit dari elevasi/TMA terendah hingga tertinggi yang harus diamati dalam jangka waktu minimal 10

tahun. (Kim et al., 2016). Kendala yang signifikan dalam pengembangan sumber daya air di negara berkembang adalah kurangnya data debit sungai yang akurat. Pengukuran lengkung debit banjir yang kurang dan jarang terjadi, dan kurvanya tidak diperbarui secara rutin atau setelah badai besar. Namun tetap harus dilakukan pembuatan lengkung debit yang akurat walaupun dengan data yang terbatas. (Negatu et al., 2022).

Lengkung debit dapat dibuat sesuai dengan variabel kontrol yang ditetapkan seperti kontrol penampang baik alami atau buatan, pengaruh bendung atau *flume* dan lain sebagainya. Dalam bentuk yang paling umum dan mendasar, persamaan ini dapat dinyatakan sebagai:

$$Q = C_D B H^\beta \quad (2-1)$$

(World Meteorological Organization et al., 2010)

Keterangan :

- Q = Debit (m³/s)
- C_D = Koefisien debit
- B = Lebar penampang (m)
- β = Variabel eksponen (Contoh penampang-V, β = 2,5; persegi, β = 1,5)

Persamaan ini kemudian dapat diturunkan untuk penampang alami dengan mempertimbangkan penampang sungai dan kemiringan dasarnya. Hubungan lengkung debit untuk kontrol saluran dengan aliran seragam diatur oleh persamaan Manning atau Chezy, Berikut adalah persamaan Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2-2)$$

(World Meteorological Organization et al., 2010)

Keterangan :

- A = Luas penampang (m²)
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- S = Kelandaian
- n = Koefisien kekasaran saluran (Koefisien Manning)

Sedangkan persamaan Chezy sebagai berikut

$$Q = CAR^{2/3}S^{1/2} \quad (2-3)$$

(World Meteorological Organization et al., 2010)

Dimana :

C = Koefisien kekasaran saluran (Koefisien Chezy)

Kedua persamaan di atas (2 & 3) umumnya berlaku untuk aliran seragam yang bervariasi secara bertahap (*Gradually varied, Uniform flow*). Sedangkan untuk aliran yang sangat bervariasi dan tidak seragam (*Highly varied, non-uniform flow*) lebih cocok menggunakan persamaan aliran tidak tunak (*unsteady flow*) Saint-Venant. Namun persamaan ini jarang digunakan dalam pembuatan lengkung debit, dan tidak dijelaskan lebih lanjut dalam penelitian ini.

2.3.1 Lengkung Debit Sederhana

Beberapa negara dan organisasi yang ada di dunia telah mengembangkan modul/panduan/prosedur umum dalam penyusunan lengkung debit. Beberapa organisasi yang menyusun pedoman tersebut diantaranya WMO (*World Meteorological Organization - PBB*), WSC (*Water Survey of Canada*), hingga Direktorat Jenderal Sumberdaya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Ditjen SDA, KemenPUPR) yang berada di Indonesia.

Berdasarkan acuan prosedur/manual dari beberapa negara yang tercantum dalam penelitian ini, semuanya mengasumsikan bahwa lengkung debit dapat didasarkan pada konsep hidraulik Manning yang disederhanakan. Persamaan hidraulik yang disederhanakan mengasumsikan aliran air terbuka, stabil dan seragam. Ketika penerapan persamaan ini memungkinkan, lengkung debit menawarkan tingkat kepercayaan yang lebih tinggi pada data yang dihasilkan karena ada lebih sedikit variasi dan interpretasi tentang bagaimana kurva dibuat. Hubungannya biasanya jelas dan mudah dimodelkan. Lengkung debit sederhana dapat terdiri dari beberapa segmen kurva yang umumnya mendefinisikan tingkat muka air rendah, sedang, dan tinggi (*overbank*) yang dihubungkan oleh lengkung transisi pendek. Dalam kebanyakan kasus, pemilihan lokasi yang baik untuk pengukuran rutin TMA (Pos Duga Air) memungkinkan penggunaan persamaan hidraulik yang disederhanakan pada penyusunan lengkung debit, tetapi lokasi ini

harus dinilai secara teratur. Kondisi di mana lengkung debit sederhana dapat digunakan akan dijelaskan pada sub bab Kontrol Lengkung Debit. (Water Survey of Canada et al., 2016)

Persamaan Manning/Chezzy yang disederhanakan dapat membentuk persamaan linear pada skala grafik logaritmik, dimana b adalah gradien garis dan C adalah titik potong dengan sumbu Y . Persamaan ini dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\text{Log}(Q) = \log(C) + b \log(H - h_o) \quad (2-4)$$

(Water Survey of Canada et al., 2016)

Keterangan :

C = Koefisien yang dipengaruhi oleh lebar, slope, kekasaran saluran, dan karakteristik lainnya

b = Variabel eksponen yang dipengaruhi oleh geometri saluran

H = Bacaan tinggi muka air (m)

h_o = Bacaan tinggi muka air saat debit = 0

Persamaan ini kemudian dapat dibuat dalam skala grafik aritmatik dengan bentuk sebagai berikut.

$$Q = C(H - h_o)^b \quad (2-5)$$

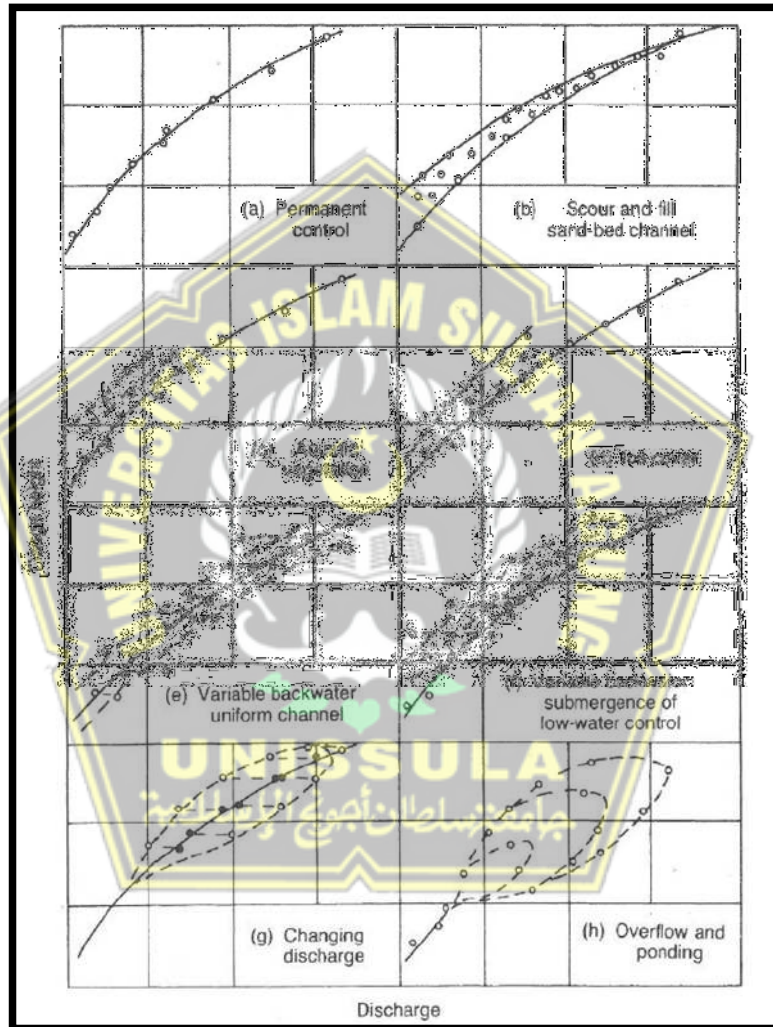
(Water Survey of Canada et al., 2016)

2.3.2 Kontrol Lengkung Debit

Pada kenyataannya penyusunan lengkung debit sederhana akan menemui beberapa penyimpangan akibat kondisi lapangan yang kompleks. Kondisi kompleks ini dapat di deskripsikan sebagai :

- Non linear, dimana persamaan tidak membentuk garis lurus pada grafik dengan skala logaritmik
- Non-unique, dimana beberapa bacaan debit dapat muncul pada satu kondisi muka air.
- Tidak stabil, hal ini diakibatkan data pengukuran debit tidak mencukupi untuk mewakili kondisi lapangan yang berubah dengan cepat.

Kondisi pada pos duga air tetap dapat berubah dengan cepat setelah lengkung debit dibuat, hal ini menyebabkan persamaan tidak sesuai dengan kenyataan di lapangan, sehingga perlu catatan dan pengamatan berkala pada lokasi pos duga air. Beberapa lokasi juga memiliki variasi data pengukuran yang sulit dianalisis serta penyimpangan ini sulit dimengerti dan dijelaskan. Berikut adalah efek dari beberapa kondisi lapangan terhadap lengkung debit.



Gambar 2.11 Pengaruh beberapa kondisi hidrolis lapangan terhadap lengkung debit (Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)

Pengaruh dari beberapa kondisi hidrolik ini perlu diidentifikasi, karena lengkung debit yang memiliki karakteristik khusus seperti ini membutuhkan keahlian yang lebih tinggi dengan beberapa pertimbangan khusus. Maka dari itu kontrol parameter lengkung debit perlu ditetapkan. Kontrol lengkung debit umumnya dipengaruhi oleh karakteristik hidrolik yang mempengaruhi aliran dari sisi hilir pos duga air. Kontrol ini dapat muncul secara alami maupun dibuat untuk keperluan monitoring hidrometri. Aliran yang rendah umumnya akan dipengaruhi kontrol penampang sedangkan aliran tinggi akan lebih dipengaruhi oleh kontrol saluran. Aliran sedang cenderung terpengaruh dari kontrol kombinasi. Aliran tinggi rentan terhadap penyimpangan hukum fisika dari penyederhanaan rumus hidrolik yang telah dijelaskan apabila terjadi limpasan pada tanggul penampang (*overbanks*) pada dataran banjir (*flood plains*)

2.3.2.1 Kontrol Penampang

Kontrol penampang dapat berupa ciri alami saluran seperti batu alam, *sand bar*, penyempitan saluran atau akumulasi sedimen. Jika dibuat oleh manusia, kontrol penampang dapat berupa bendungan kecil, bendung, saluran air, atau pelimpah. Kontrol penampang diidentifikasi dengan mengamati riffle, atau penurunan yang jelas di permukaan air, saat aliran melewati kontrol. Seringkali, saat TMA meningkat dengan aliran yang lebih tinggi, kontrol penampang akan tenggelam dan tidak akan lagi mengatur hubungan TMA dengan debit. (World Meteorological Organization et al., 2010)

2.3.2.2 Kontrol Saluran

Kontrol saluran terdiri dari kombinasi ciri hidrolik yang tersebar di seluruh jangkauan hilir dari pengukur. Fitur-fitur ini termasuk ukuran saluran, bentuk, kelengkungan, kemiringan dan kekasaran lapisan. Panjang saluran kontrol bervariasi tergantung pada seberapa curam atau datar saluran, serta besarnya aliran. Mengetahui panjang jangkauan kontrol saluran biasanya tidak mungkin atau tidak perlu. (World Meteorological Organization et al., 2010)

2.3.2.3 Kontrol Kombinasi

Hubungan antara TMA dan debit kadang-kadang dapat diatur oleh lebih dari satu jenis kontrol. Hal ini biasanya terjadi untuk rentang pendek dalam tahap antara

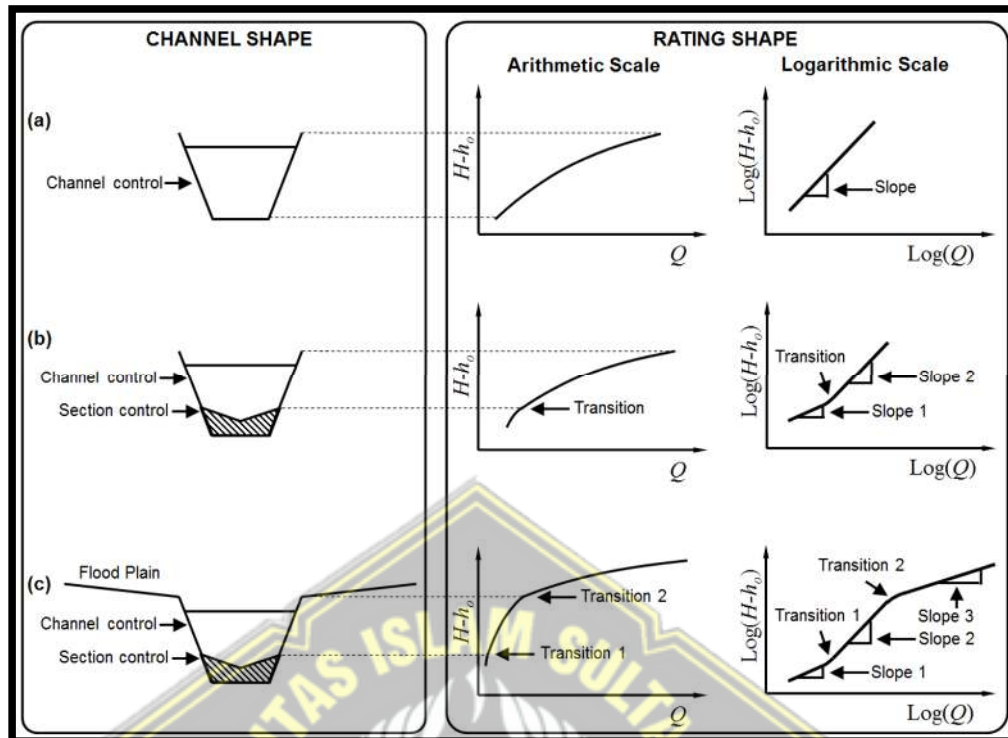
fitur kontrol yang berbeda dan disebut sebagai transisi. Transisi tidak mengikuti persamaan hidrolik tertentu. Mereka didefinisikan secara empiris. (Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)

2.3.2.4 Kontrol Buatan

Kontrol penampang atau kontrol saluran dapat menjadi kontrol buatan. Kontrol buatan adalah kondisi buatan manusia yang memberikan keuntungan besar untuk pembuatan ekstrapolasi lengkung debit karena persamaan ini menggambarkan kontrol buatan (misalnya bendung) dapat langsung dimasukkan ke dalam sistem perhitungan data sebagai dasar untuk penyusunan lengkung debit di lokasi tersebut. Lengkung debit juga dapat diperpanjang secara akurat dan efisien berdasarkan informasi kontrol buatan manusia selama aliran berada dalam batasan. (Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)

2.3.2.5 Kontrol Dataran Banjir

Kontrol dataran banjir dipengaruhi oleh fitur yang serupa dengan yang ada di kontrol saluran. Namun, kejadian aliran dengan besaran seperti itu kemungkinan besar akan mengubah semua kecuali fitur kontrol yang paling stabil. Selain itu, pada TMA tersebut, debit cenderung bergantung pada lebih dari satu tahap dengan kemungkinan peningkatan penyimpanan overbank besar, peningkatan pengaruh variabel backwater atau debit yang berubah dengan cepat menyebabkan histeresis. Ini kemudian akan membatasi penggunaan model sederhana. (Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)



Gambar 2.12 Ilustrasi hubungan parameter kontrol dengan lengkung debit.

(Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)

2.3.3 Penentuan Nilai H_0

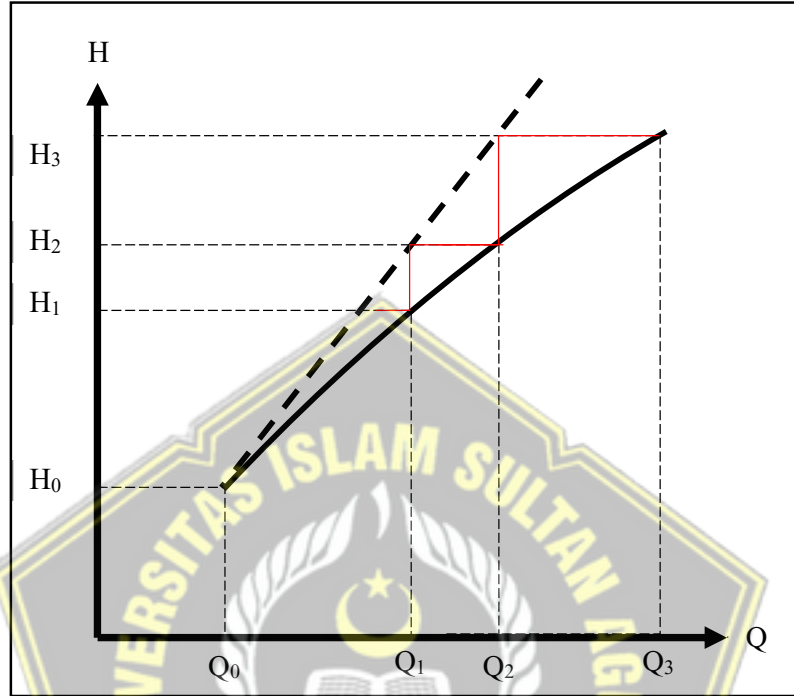
Nilai H_0 merupakan representasi dari pembacaan TMA saat debit sama dengan 0. Pada kondisi kontrol saluran, istilah $H-H_0$ memiliki kesesuaian dengan radius hidrolis. Nilai H_0 harus disesuaikan agar seluruh pengukuran yang terikat pada suatu persamaan dapat membentuk garis lurus pada grafik skala logaritmik. (United State Geological Survey (USGS) & Sauer, 2002)

Cara terbaik menentukan nilai H_0 adalah dengan cara mengukur langsung pada lokasi penampang sungai yang bersangkutan. H_0 juga dapat diperkirakan menggunakan persamaan

$$H_0 = \frac{H_1 H_3 - H_2^2}{H_1 + H_3 - 2H_2} \quad (2-6)$$

(World Meteorological Organization et al., 1980)

Dimana nilai H_1 dan H_3 dapat ditentukan berdasarkan nilai Q_1 dan Q_3 yang dipilih dari grafik dengan nilai H_2 adalah tinggi muka air pada nilai debit Q_2 dengan syarat $Q_2^2 = Q_1 \times Q_3$



Gambar 2.13 Ilustrasi Penentuan H_0 menggunakan Persamaan
(Sumber : Water Survey of Canada et al., 2016)

2.3.4 Penentuan Nilai A dan B

Metode *least square* biasanya digunakan untuk memperkirakan koefisien lengkung debit. Metode *least square* meminimalkan jumlah kuadrat deviasi antara logaritma debit terukur dan debit yang diperkirakan diperoleh dari lengkung debit yang terkoreksi. Untuk persamaan logaritmik nilai A dan B dapat diperkirakan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^N X_i)(\sum_{i=1}^N Y_i)}{N \sum_{i=1}^N (X_i)^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2-7)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - B \sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2-8)$$

(DHV Consultants BV et al., 1999)

Dimana :

$X = \text{Log} (H-H_0)$

$Y = \text{Log} (Q)$

$N = \text{Jumlah Data}$

2.3.5 Manfaat Implementasi Lengkung Debit

Beberapa aplikasi hidrologi, seperti analisis frekuensi banjir, model curah hujan-limpasan dan analisis genangan banjir, memerlukan penggunaan data debit yang mengacu pada kondisi banjir. Sayangnya, beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi aliran, semakin tinggi ketidakpastian kurva peringkat yang, untuk kondisi aliran ini, digunakan jauh di luar rentang pengukuran debit aktual. Studi ini menegaskan bahwa fungsi analitis yang biasa digunakan untuk menginterpolasi pengukuran debit sungai gagal untuk mereproduksi hubungan tahap-debit di zona ekstrapolasi dan dapat menyebabkan hasil yang tidak masuk akal secara fisik. Oleh karena itu, pendekatan hidraulik untuk mendapatkan kurva tahap-debit (dengan ketidakpastian) direkomendasikan. Sebagai alternatif, ketidakakuratan karena estimasi standar *Rating Curve* dapat dikurangi dengan mengelompokkan maksimal tahunan di bawah *Rating Curve* banjir yang unik, menurut metodologi yang diusulkan oleh Claps et al. (2003). Studi ini juga menunjukkan bahwa, untuk nilai debit sungai yang cukup tinggi dibandingkan debit *bankfull*, perbedaan muka air akibat perubahan geometri sungai cenderung menghilang. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa perubahan geometri jangkauan sungai terutama terjadi di saluran utama dan oleh karena itu tidak memiliki efek yang kuat pada hidrolika ketika dataran banjir memberikan kontribusi yang relevan terhadap aliran. Meskipun fitur geomorfologi Sungai Po dapat dianggap mewakili banyak sungai aluvial di Eropa dan di seluruh dunia, hasil penelitian ini harus diperluas lebih lanjut mengingat studi tambahan relatif terhadap lokasi pengujian yang berbeda. (Di Baldassarre & Claps, 2011)

2.4 Tahap Penyusunan Lengkung Debit

Prosedur penyusunan lengkung debit telah disusun oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dengan tujuan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembuatan lengkung debit (*Rating*

Curve) dan memberikan acuan teknis dalam penyusunan lengkung debit (*Rating Curve*), perpanjangan lengkung debit dan pembuatan tabel aliran. (Direktorat Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2009) Persyaratan membuat lengkung debit terkait data dan informasi yang diperlukan (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015) :

- a. pembacaan tinggi muka air (TMA) pada saat pengukuran harus dilakukan di pos duga air.
- b. tersedia data TMA tertinggi sampai dengan terendah yang pernah terjadi selama pengamatan.
- c. tersedia data TMA pada saat debit sama dengan nol (*zero flow*). 3
- d. gambar penampang (profil) melintang pada lokasi pengukuran yang dapat menunjukkan TMA tertinggi, terendah dan melimpah (apabila terjadi limpahan debit)
- e. tersedia informasi penggerusan dan pengendapan dasar sungai/saluran terbuka di lokasi pengukuran debit.
- f. tersedia minimal 10 buah data pengukuran yang meliputi keadaan debit muka air rendah sampai dengan muka air tinggi.

Penyusunan lengkung debit sesuai Prosedur Pembuatan *Rating Curve* ini mengizinkan penggunaan perangkat lunak (*software*) apabila pembuatannya tidak dilakukan secara manual dengan tetap memperhatikan syarat-syarat penggambaran lengkung debit seperti :

- arah lengkung ditentukan berdasarkan keseimbangan sebaran dan urutan kronologis data pengukuran dengan memperhatikan proses pengendapan atau penggerusan yang terjadi.
- lengkung debit ditentukan mulai dari skala gambar lengkung debit untuk muka air rendah, sedang dan tinggi.
- agar memudahkan pembacaan lengkung debit, dianjurkan agar lengkung debit dapat diklasifikasikan ke dalam 3 kategori, yaitu muka air rendah, sedang dan tinggi.
- kemiringan lengkung debit antara 30° – 45° .

- persamaan lengkung debit seharusnya mengikuti metoda Logaritmik. Berbagai negara menggunakan notasi masing-masing dalam penulisan rumus lengkung debit. notasi yang sudah umum dipergunakan di Indonesia sebagai berikut :

$$Q = A (H - H_0)^B \quad (2-9)$$

(Direktorat Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2009)

Dimana :

Q = debit (m³/dt)

H = tinggi muka air (m)

H₀ = tinggi muka air pada saat aliran sama dengan nol

A,B = konstanta

Persamaan yang digunakan di Indonesia pada dasarnya sama dengan prosedur milik negara lain, namun pada kasus ini ditetapkan simbol yang digunakan sesuai persamaan diatas.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam perpanjangan lengkung debit, sbb :

- a. perpanjangan lengkung debit untuk muka air tinggi dilakukan bila pengukuran debit telah mencapai minimum 70% dari muka air tertinggi,
- b. debit tidak melimpah.
- c. lebar aliran sungai/saluran terbuka relatif tidak bertambah secara drastis antara muka air rendah dan muka air tinggi.
- d. perpanjangan lengkung debit untuk muka air rendah hanya dilakukan bilamana telah diketahui tinggi aliran nol (*zero flow*)

2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam suatu penelitian diperlukannya mengkaji penelitian terdahulu guna sebagai acuan dan referensi dalam pelaksanaannya. Penelitian terdahulu diharapkan dapat melihat perbedaan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Serta di harapkan dapat memperhatikan kelebihan dan kekurangan dari penelitian terdahulu.

Tabel 2.3 Keaslian Penelitian

Judul (Penulis, Tahun)	Tujuan	Metodologi	Hasil
ANN-Based Approach for Predicting Rating Curve of an Indian River,(Goel, 2011)	Mengaplikasikan penggunaan Artificial Neural Network dengan algoritma Feed Forward Back Propagation pada pembuatan model hubungan tinggi muka air - debit.	Metode yang digunakan adalah pendekatan dengan Artificial Neural Network dengan algoritma Back Propagation (ANN-Based Approach-Feed Forward Back Propagation)	Berdasarkan hasil penelitian penggunaan pendekatan ANN dengan algoritma Back Propagation Feed Forward dapat memperkirakan debit pada Pos Duga Air Tikarapara di Sungai India. ANN memiliki akurasi prediksi yang lebih efektif dan opotensial untuk digunakan dalam pembuatan lengkung debit sungai.
Rating Curve Estimation under Epistemic Uncertainty, (Mcmillan & Westerberg, 2015)	Menyediakan metode yang berguna untuk praktisi hidrologi untuk menilai kurva penilaian	Metode Sampling Markov chain Monte Carlo (MCMC) sebagai metode sampling. Dan menyusun metode multisegmen untuk persamaan eksponen.	Membuat "Likelihood function" untuk memperkirakan ketidakpastian yang ada di lengkung debit yang memungkinkan terbentuknya lengkung debit multisegmen yang bisa menggambarkan ketidakpastian dalam lengkung debit.
Hubungan Debit Air Dan Tinggi Muka Air Di Sungai Lambagu Kecamatan Tawaeli Kota Palu (Neno et al., 2016)	Mengetahui hubungan debit air dan perubahan tinggi muka air sungai di Sungai Lambagu kecamatan Tawaeli Kota Palu.	Metode Logaritma (Linsley dkk) digunakan dalam membuat persamaan lengkung debit	Hubungan debit air dan tinggi muka air menunjukkan suatu hubungan yang sangat kuat (positif) dengan diperoleh persamaan yaitu $Q = 0.157h^{0.654x}$ dengan nilai koefisien determinan korelasi sebesar $(R^2) = 0.905$

Judul (Penulis, Tahun)	Tujuan	Metodologi	Hasil
Model Hubungan Antara Tinggi Muka Air-Debit Menggunakan Pendekatan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis) (Fahmi et al., 2017)	Mengetahui dan menguji performa Model Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam membuat persamaan lengkung debit dan peramalan debit dengan data tinggi muka air serta membandingkannya dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST/ANN)	Menggunakan Model Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dengan program MATLAB	Berhasil membuat lengkung debit dengan nilai korelasi tinggi mencapai 0,9999587 dan RMSE 0,554606. Performa Model ANFIS lebih baik dibandingkan JST (R=0,9999147).
Adjusting Stage-Discharge Rating Curves to Morphological Changes at Known Times (Mansanarez et al., 2019)	Membuat, memperkirakan dan mengevaluasi Model SPD yang disesuaikan untuk sungai yang tidak stabil dalam mengidentifikasi pergeseran lengkung debit	Penurunan rumus Manning-Strickler dan WMO digunakan untuk membuat Model Stage-Period-Discharge (SPD) pada sungai tidak stabil.	Model SPD berhasil dibentuk dari persamaan hidrolik yang dapat membentuk persamaan lengkung debit pada sungai yang tidak stabil
Establishing Stage-Discharge Rating Curves in Developing Countries: Lake Tana Basin, Ethiopia (Negatu et al., 2022)	Membuat hubungan tinggi muka air - debit (Persamaan lengkung debit) dengan data pengukuran yang terbatas	Metode yang digunakan adalah analisis regresi logaritmik yang diturunkan dari persamaan Chezy-Manning mengacu pada World Meteorological Organization	Beberapa lengkung debit berhasil dibuat untuk sungai-sungai di Daerah aliran sungai Danau Tana, Ethiopia. Komponen eksponen bernilai antara 1,4-3,5 dengan nilai korelasi diatas 90% antara data debit terukur dengan data debit perkiraan. Nilai eksponen <2 menyatakan Kontrol saluran sebagai kontrol debit, saluran berbentuk segitiga memiliki nilai eksponen berkisar 2,67, sedangkan nilai eksponen >3 mengindikasikan adanya Kontrol Penampang dan Dataran Banjir.

Judul (Penulis, Tahun)	Tujuan	Metodologi	Hasil
Determination of Stage Discharge Rating Curve at Sungai Batang Melaka (Zakariah et al., 2021)	Penentuan hubungan tinggi muka air - debit (lengkung debit) pada beberapa penampang Sungai Batang Melaka	Pendekatan dengan rumus Chezy-Manning digunakan untuk membuat lengkung debit berdasarkan lebar, kedalaman dan kecepatan arus pada beberapa penampang persegi panjang di Sungai Batang Melaka	Berhasil membuat lengkung debit pada Sungai Batang Melaka. Lengkung debit pada Penampang S2 dan S4 lebih stabil daripada S1 dan S3 akibat efek erosi dan sedimentasi sungai.

Beberapa penelitian telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya mengenai topik dan *keyword* tentang “Lengkung Debit”, “Persamaan Lengkung Debit”, “Hubungan antara Tinggi Muka Air dan Debit”. Aspek yang diteliti mengenai topik tersebut mulai dari membahas hubungan penggunaan atau penyusunan beberapa metode baru untuk membuat persamaan lengkung debit

Sebagian penelitian mengenai lengkung debit yang sudah ada dilakukan dengan studi kasus pada lokasi-lokasi sungai yang memiliki urgensi untuk diketahui hubungan antara tinggi muka air dan debitnya seperti Sungai Lambagu di Palu hingga Sungai Batang Melaka, Pada penelitian kali ini data TMA dan pengukuran debit akan digunakan sebagai dasar penentuan fluktuasi muka air dan bentuk penampang sungai agar dapat ditentukan batas atas dan batas bawah untuk TMA di lengkung debit, juga akan diidentifikasi pengaruh kontrol lengkung debit pada persamaannya. Selanjutnya persamaan tersebut akan di validasi dan di evaluasi apakah menghasilkan data debit yang wajar untuk penampang sungainya. Seperti yang telah diuraikan di latar belakang, pada penelitian ini terdapat urgensi untuk melakukan analisis persamaan lengkung debit pada DAS Serang-lusi karena merupakan DAS terluas di salah satu WS terbesar di provinsi Jawa Tengah. Maka penelitian dilakukan perumusan persamaan lengkung debit dengan metode yang mengacu pada instruksi kerja Ditjen SDA, Kementerian PUPR dan beberapa literatur lain.

BAB III

METODE PENELITIAN

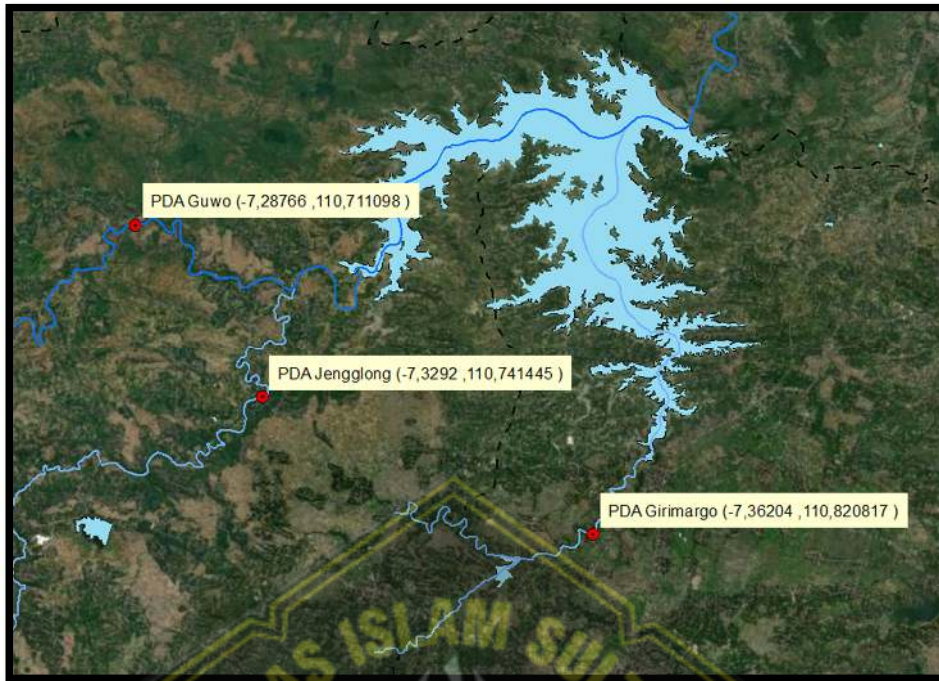
3.1 Pendekatan

Berdasarkan uraian pendahuluan dan tinjauan pustaka yang telah disusun, penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus/*Case Study* pada lokasi studi yang bertujuan menjelaskan konsep pikir serta peraturan terkait topik yang sedang dibahas yaitu Analisis Lengkung Debit Pos Duga Air Das Serang – Lusi Studi Kasus Alirah Hulu Waduk Kedungombo

Metode penelitian yang digunakan dalam laporan ini tetap mengacu pada Peraturan yang ditetapkan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) terkait pengelolaan sumber daya air khususnya pada Prosedur dan Instruksi Kerja Pembuatan Lengkung Debit No QA/HDR/04/2009. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang ada tidak dipungkiri akan membuat peraturan maupun prosedur yang ditetapkan menjadi kurang relevan jika diterapkan secara kaku, oleh karena itu dalam penelitian ini penyusunan lengkung debit tetap memperhatikan prosedur terbaru yang digunakan pada referensi lain dalam studi literatur yang telah dilakukan oleh penulis

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini pada Pos Duga Air Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi, WS Jratunseluna yang dikelola oleh BBWS Pemali-Juana. Penelitian ini melakukan tinjauan pada kurun waktu 6 bulan dengan yang digunakan dalam kegiatan pengumpulan hingga analisis data.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Pos Duga Air (PDA) Hulu Sungai Waduk Kedungombo DAS Serang-Lusi, WS Jratunseluna (BBWS Pemali Juana, 2021)

3.3 Alat dan Bahan

Alat penelitian berupa komputer/laptop untuk melakukan analisis data adapun beberapa keperluan alat dan bahan dalam melakukan rencana kegiatan ini termasuk *survey* dan lain sebagainya adalah sebagai berikut

- a. Perangkat Keras (Laptop/Komputer)
 1. *Processor* Intel i7 8th Gen
 2. RAM 8 GB
 3. Kapasitas SSD 128 GB
 4. Monitor 1024 x 768 pxl
 5. Perangkat Mouse dan Keyboard
- b. Perangkat Lunak
 1. Rstudio
 2. ArcMap 10.5
 3. Global Mapper 18
 4. Google Earth Pro

5. Google Chrome
6. Mendeley Desktop
7. AutoCAD Civil 3D 2019
8. Adobe Reader
9. Nitro Pro
10. Microsoft Office 2016 (Word, Excel, Powerpoint, dll)

3.4 Keperluan Data

Sumber data dan data dengan kualitas yang baik, jika diolah dengan metode yang tepat akan menghasilkan analisis yang akurat. Adapun teori, konsep dasar, data/informasi, serta alat bantu yang baik dan memadai akan mendukung hasil analisis tersebut. Oleh karena itu kualitas data yang baik mutlak diperlukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Adapun data primer dan sekunder yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Data Primer
 - Data Hasil Survei Pengukuran Debit/Kartu Pengukuran Debit Meliputi (Penampang Sungai, Kecepatan Arus, Debit Sungai)
- Data Sekunder
 - Data Geospasial
Data geospasial terbaru dan terupdate yang dibutuhkan dalam format SHP dan meliputi item sebagai berikut
 - Wilayah Sungai
 - Daerah Aliran Sungai
 - Batas Wilayah Administrasi
 - Batas Daratan dan Laut
 - Alur Sungai
 - Koordinat Pos Hidrologi
 - Data Hidrologi (10 Tahun Terakhir)
 - Data Historis Tinggi Muka Air (Harian dan Jam-jam an)
 - Data Historis Survei Pengukuran Debit/Kartu Pengukuran Debit (Tanggal Pengukuran, TMA, Debit, Metode)
 - Data Kondisi Pos Hidrologi (Historis , Catatan Kerusakan dll)

- Prosedur dan Instruksi Kerja

3.5 Langkah Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap mulai dari studi pustaka, identifikasi masalah, penyusunan lengkung debit hingga proses penarikan kesimpulan. Beberapa tahapan penting akan dijelaskan lebih lanjut mengenai metode yang digunakan seperti metode pengumpulan data, pengolahan data hingga analisis data. Adapun metode penjelasan masing-masing metode tersebut adalah sebagai berikut.

a) Metode Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ada beberapa data yang perlu dikelompokkan menjadi beberapa kluster. Data sekunder didapatkan dari *database* Unit Hidrologi dan Kualitas Air, BBWS Pemali Juana. Sedangkan data primer akan diperoleh pada saat pengukuran debit sungai yang di ikuti langsung oleh penulis. Berikut adalah kelompok data yang dibutuhkan untuk masing-masing item penelitian.

- Fluktuasi Muka Air dan Penampang Sungai Lokasi

Fluktuasi muka air akan didapatkan dari data sekunder historis TMA selama 10 tahun terakhir. Data ini akan dikelompokkan menjadi data rata-rata TMA harian. Sedangkan penampang sungai akan didapatkan dari data primer pada saat pengukuran debit sungai yang sekaligus mengukur penampang basah sungai. Penampang basah ini akan ditambah data lereng sungai yang akan digabung menjadi penampang sungai.

- Persamaan dan Kurva Lengkung Debit

Historis data pengukuran debit dari data sekunder, serta *update* terbaru data pengukuran dari data primer akan dimasukkan dalam satu daftar pengukuran debit. Persamaan lengkung debit membutuhkan data TMA dan Debit pada saat bacaan TMA tersebut, hal ini agar dapat dilakukan analisis hubungan TMA-Debit dengan persamaan dan kurva lengkung debit.

- Validasi dan Evaluasi Lengkung Debit

Data yang dibutuhkan untuk melakukan validasi dan evaluasi persamaan lengkung adalah data penampang, fluktuasi muka air, *geospasial* dan kondisi pos yang akan menggambarkan keadaan lokasi apakah debit yang dihasilkan persamaan debit dapat dijustifikasi terjadi pada lokasi penelitian.

b) Metode Pengolahan Data

Pengolahan data yang telah dikumpulkan akan menggunakan laptop dan *software* dengan spesifikasi yang telah dijelaskan pada sub bab alat dan bahan. Adapun metode pengolahan data sebagai berikut :

- Fluktuasi Muka Air dan Penampang Sungai Lokasi

Data TMA selama 10 tahun terakhir akan digabung menjadi 1 dataset yang akan dimasukkan menjadi Rscript sehingga dapat diolah menggunakan program Rstudio sehingga dapat diketahui sebaran data TMA serta dapat diketahui nilai minimal dan maksimal pada keseluruhan data yang ada. Nilai minimal dan maksimal ini akan menjadi Fluktuasi muka air. Data penampang sungai yang ada di kartu pengukuran kemudian akan diplot menggunakan program Autocad Civil 3D dalam format file DWG. File ini dapat dikonversi ke Rscript sehingga fluktuasi muka air dapat terlihat pada penampang sungai.

- Persamaan dan Kurva Lengkung Debit

Data historis pengukuran yang terdiri dari data TMA, Debit, tanggal dan metode pengukuran debit pada tiap-tiap tahun ini akan digabung dalam tabel di excel. *File* ini kemudian dapat diubah menjadi format Rscript, dalam format ini data historis pengukuran akan menjadi *dataframe* yang kemudian dapat di plot langsung ke dalam grafik hubungan TMA dan Debit. Grafik ini yang akan menjadi dasar penyusunan persamaan lengkung debit.

- Validasi dan Evaluasi Lengkung Debit

Persamaan dan kurva lengkung debit yang telah disusun kemudian akan digabung dengan grafik hubungan TMA dan Debit. Penggabungan ini bertujuan untuk melihat apakah kurva lengkung debit dekat dengan data pengukuran debit.

c) Metode Analisis Data

- Fluktuasi dan Penampang Sungai Lokasi

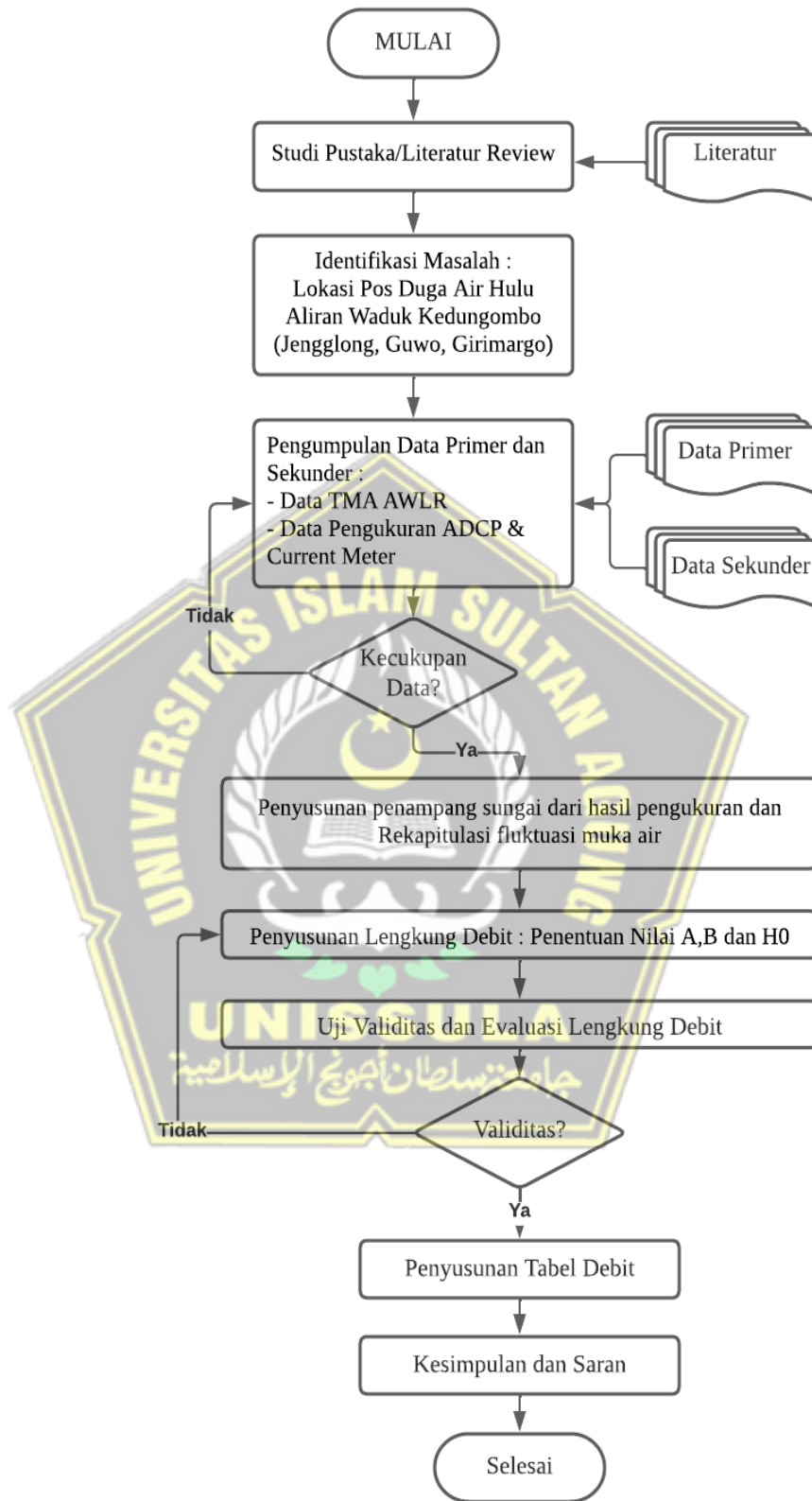
Analisis fluktuasi muka air dilakukan statistik untuk mengetahui persebaran data fluktuasi muka air. Fluktuasi muka air yang sudah tergabung dan terlihat pada penampang sungai ini akan menjadi dasar penentuan nilai TMA yang akan diplot pada kurva persamaan lengkung debit. Analisis penampang sungai dilakukan untuk menggabungkan data penampang basah sungai dengan data penampang lereng sungai untuk menjadi data penampang sungai.

- Persamaan dan Kurva Lengkung Debit

Tahapan penyusunan persamaan dan kurva lengkung debit akan mengacu pada instruksi kerja Ditjen SDA, Kementerian PUPR dan selanjutnya analisis dengan regresi logaritmik akan mengacu pada beberapa literatur tambahan yang dikeluarkan oleh WMO, WSC dan pedoman lainnya. Data pengukuran debit akan dianalisis dengan Ms. Excel untuk menentukan persamaan lengkung debitnya.

- Validasi dan Evaluasi Lengkung Debit

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) akan menjadi dasar acuan dalam validasi lengkung debit. Selanjutnya lengkung debit akan dijustifikasi berdasarkan kontrol lengkung debit untuk mengetahui variabel apa yang berpengaruh pada jenis lengkung debit dan deskripsi ini akan membantu proses kalibrasi lengkung debit



Gambar 3.1 Bagan Metodologi

BAB 4

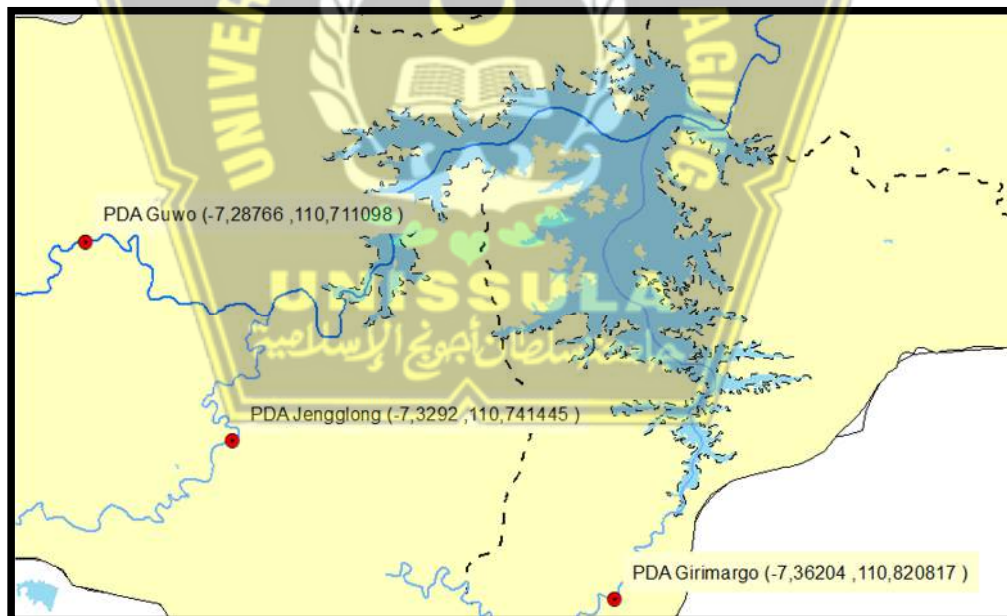
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Sekunder dan Hasil Pengukuran

Penulis telah melakukan pengumpulan data primer dan sekunder guna penyusunan lengkung debit pada studi kasus Hulu Sungai waduk kedungombo. Terdapat 3 pos duga air pada Hulu Sungai waduk kedungombo yang meliputi Pos Duga Air Guwo, Jengglong dan Girimargo.

4.1.1 Deksripsi Lokasi Pengamatan

Ketiga lokasi pengamatan yaitu Pos Duga Air Guwo, Jengglong dan Girimargo. Seluruhnya berada di Hulu sungai Waduk Kedungombo tepatnya secara berurutan di sungai Serang, Laban, dan Uter. Adapun peta lokasi pengamatan dan dokumentasi saat pengukuran adalah sebagai berikut



Gambar 4.1 Peta Lokasi Pengamatan
(BBWS Pemali Juana, 2021)



Gambar 4.2 Ruas Penampang dan Dokumentasi Pengukuran Debit pada Lokasi Pengamatan (Pengamatan, 2022)

4.1.2 Data Sekunder

4.1.2.1 Data Historis Pengukuran Debit

Data historis pengukuran debit (Tinggi muka air saat pengukuran dan debit sungai) yang telah dilakukan oleh Unit Hidrologi dan Kualitas Air BBWS Pemali Juana pada ketiga pos duga air tersebut dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.1 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Guwo

Tanggal	TMA (m)	Debit (m ³ /s)	Metode
03/04/2015	1,21	58,54	Merawas
15/04/2015	1,80	111,15	Merawas
26/11/2015	0,00	4,65	Merawas
20/12/2015	0,38	12,77	Merawas
13/05/2016	0,33	10,28	Merawas
21/09/2016	0,30	9,14	Merawas
13/09/2017	-0,04	3,16	Merawas
12/12/2018	-0,52	0,68	Merawas
10/11/2020	-0,52	0,73	Merawas
09/03/2021	0,10	6,61	Merawas
02/06/2021	-0,21	2,68	Merawas
24/08/2021	-0,50	1,12	Merawas
19/11/2021	-0,50	5,99	ADCP

(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021) – Lampiran A.1

Tabel 4.2 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Jengglong

Tanggal	TMA (m)	Debit (m ³ /s)	Metode
16/03/2015	0,35	3,17	Merawas
05/04/2015	0,23	1,94	Merawas
22/11/2015	0,10	1,00	Merawas
15/12/2015	0,25	2,12	Merawas
05/04/2016	0,30	2,87	Merawas
19/12/2016	0,38	3,88	Merawas
09/11/2017	0,28	2,47	Merawas
12/12/2018	0,13	0,51	Merawas
12/12/2019	0,00	0,30	Merawas
18/06/2020	0,05	0,41	Merawas
10/11/2020	0,00	0,35	Merawas
10/03/2021	0,38	3,97	Merawas
02/06/2021	0,15	0,53	Merawas
24/08/2021	0,10	0,43	Merawas
11/11/2021	0,18	1,19	Merawas

(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021) – Lampiran A.2

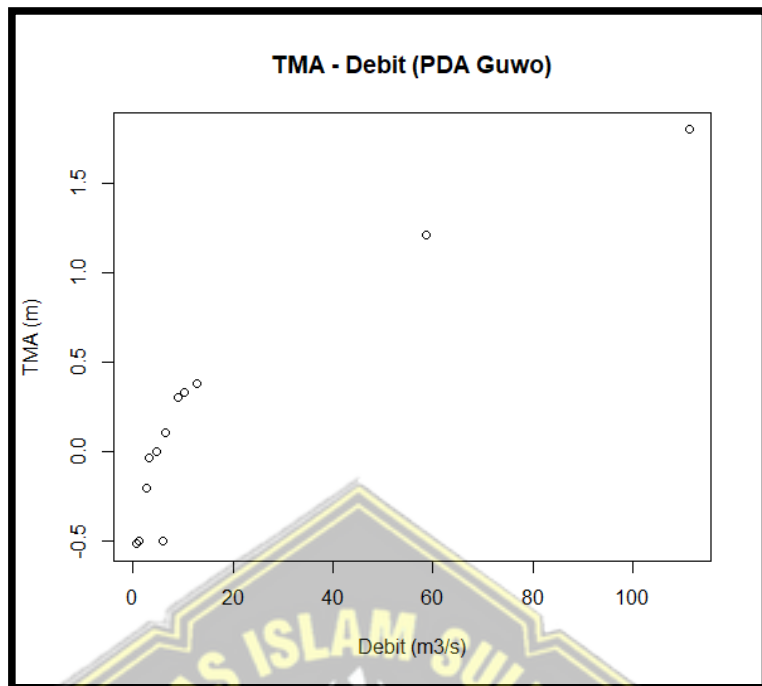
Tabel 4.3 Data Pengukuran Debit Pos Duga Air Girimargo

Tanggal	TMA (m)	Debit (m ³ /s)	Metode
12/03/2015	0,45	3,55	Merawas
10/04/2015	0,25	1,20	Merawas
05/11/2015	0,33	1,83	Merawas
18/12/2015	0,68	10,30	Merawas
15/04/2016	0,48	4,79	Merawas
13/10/2016	0,30	1,77	Merawas
09/11/2017	0,25	2,47	Merawas
12/12/2018	0,25	0,18	Merawas
12/12/2018	0,30	0,51	Merawas
12/12/2019	0,37	1,09	Merawas
12/12/2019	0,29	0,30	Merawas
18/06/2020	0,18	0,04	Merawas
10/11/2020	0,35	1,10	Merawas
10/03/2021	0,85	11,07	ADCP
10/03/2021	0,85	11,97	ADCP
07/06/2021	0,22	0,16	Merawas
26/08/2021	0,23	0,16	Merawas
11/11/2021	0,30	1,20	Merawas

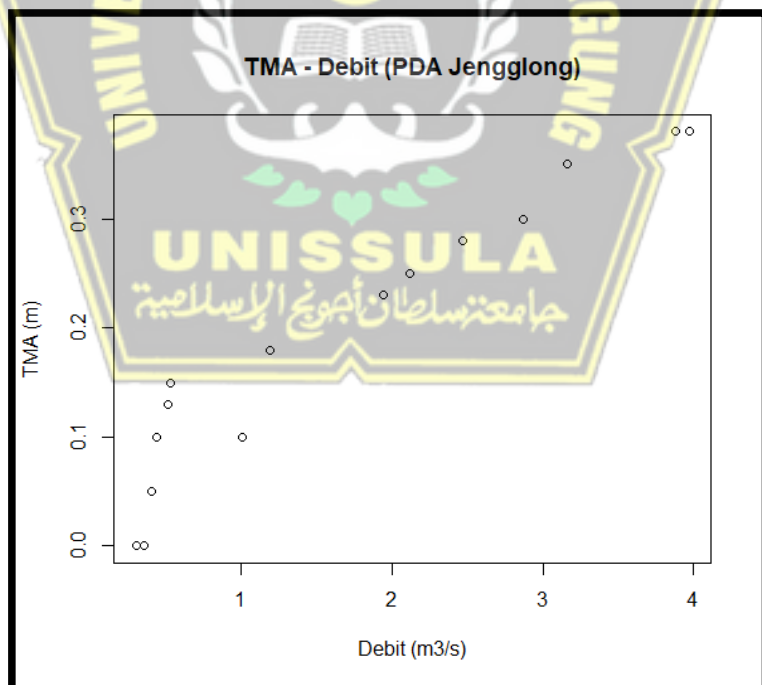
(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021) – Lampiran A.3

Berdasarkan data historis yang tersedia pada lampiran A.1-A.3, Pos duga air guwo memiliki 13 data point sedangkan pos jengglong dan girimargo secara berurutan memiliki 15 dan 18 data poin. maka dari berdasarkan literatur dan prosedur yang menjadi acuan, ketiga pos memenuhi syarat untuk dapat menyusun lengkung debit karena masing-masing pos duga air memiliki lebih dari 10 *data series* yang menjadi syarat minimal penyusunan lengkung debit.

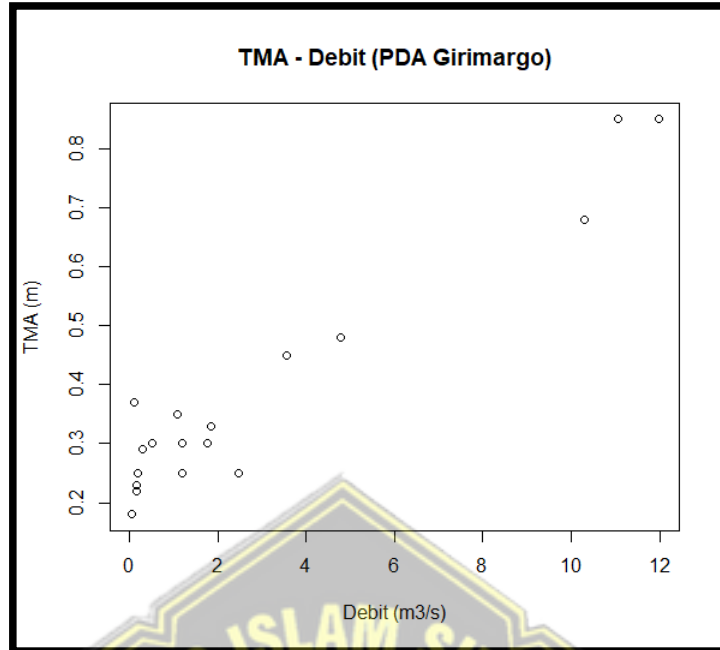
Persebaran data pengukuran debit masing-masing pos yang tersedia kemudian dapat diplot pada grafik dengan sumbu x sebagai debit (*discharge*) dalam satuan m³/dtk dan sumbu sebagai tinggi muka air / elevasi pada saat dilakukan pengukuran debit dalam satuan meter. Plot data dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Guwo
(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021)



Gambar 4.4 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Jengglong
(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021)



Gambar 4.5 Grafik TMA-Debit Pos Duga Air Girimargo
(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021)

4.1.2.2 Fluktuasi Muka Air

Perhitungan fluktuasi muka air pada pos duga air dilakukan dengan plot seluruh data TMA maksimal dan minimal yang ada sepanjang tahun untuk mengetahui nilai ekstrim. Terlampir data historis Pembacaan TMA Pos Duga Air. Berdasarkan Data tersebut didapatkan nilai batas atas dan batas bawah untuk fluktuasi muka air yang ada. Berikut adalah rekapitulasi data ekstrim yang dialami setiap pos.

Tabel 4.4 Fluktuasi Muka Air Pos Duga Air

PDA	Aliran terkecil		Aliran terbesar	
	TMA	Tanggal	TMA	Tanggal
Guwo	-0,32	29/06/2019	3,52	07/04/2017
Jengglong	-0,15	29/08/2015	3,00	23/04/2015
Girimargo	0,00	17/01/2018	4,00	16/02/2018
PDA	TMA Pengukuran Terkecil		TMA Pengukuran Terbesar	
	TMA	Tanggal	TMA	Tanggal
Guwo	-0,52	10/11/2020	1,80	15/04/2015
Jengglong	0,00	12/12/2019	0,38	10/03/2021
Girimargo	0,18	18/06/2020	0,85	10/03/2021

(Data Sekunder : BBWS Pemali Juana, 2021) – Lampiran A.1-A.3

4.1.3 Data Primer

4.1.3.1 Data Hasil Pengukuran

Berdasarkan lampiran B.1 sampai B.3 mengenai pengukuran debit pada tahun 2022 di ketiga lokasi, telah dilakukan pengukuran tambahan sebanyak 2 kali pada masing-masing lokasi menggunakan alat ukur debit yaitu *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Pengukuran debit dilakukan dengan membentangkan tali tambang selebar sungai yang akan di pegang kedua ujungnya oleh tim pengamat, kemudian satu orang operator akan mengatur ADCP untuk dikaitkan ke tali dan diturunkan ke sungai. ADCP yang digunakan sudah memiliki perahu apung sehingga proses pengukuran debit dapat dilakukan dengan menarik tali dari salah satu ujung. Pengukuran dilakukan sebanyak minimal 2 kali untuk kemudian dirata-rata debit yang diukur sebagai debit pengukuran. Berikut adalah rekapitulasi pengukuran debit yang dilakukan pada Tahun 2022.

Tabel 4.5 Data Tambahan Pengukuran Debit Pos Duga Air Hulu Sungai Waduk Kedungombo

PDA	Tanggal	TMA (m)	Debit (m ³ /s)	Metode
Guwo	23/03/2022	-0,20	10,65	ADCP
	19/05/2022	0,55	27,10	ADCP
Jengglong	16/03/2022	0,34	3,25	ADCP
	25/05/2022	0,16	1,41	ADCP
Girimargo	16/03/2022	0,55	5,87	ADCP
	25/05/2022	0,27	2,91	ADCP

(Data Primer : BBWS Pemali Juana, 2021) – Lampiran B.1-B.3

4.1.3.2 Data Penampang Sungai

Pengukuran debit dilakukan di ketiga sungai pada lokasi pos duga air menggunakan ADCP. Berikut adalah dokumentasi dan hasil pengukuran penampang menggunakan ADCP.

Step	Sample	Time	Track (m)	DMG (m)	Depth (m)	# Pings	# Cells	Satellites	GPS Qual...	Mean Speed (m/s)	Boat Speed (m/s)	Left Q (m ³ /s)	Right Q (m ³ /s)	Total Q (m ³ /s)	Corrected T (m ³ /s)
Start Edge...	1	11:12:15...	0.00	0.00	0.45	35	0	7	1	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	2	11:12:16...	0.00	0.00	0.45	35	0	7	1	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	3	11:12:17...	0.37	0.37	0.45	34	0	7	1	0.000	0.374	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	4	11:12:18...	1.03	0.96	0.45	35	0	7	1	0.000	0.651	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	5	11:12:19...	0.01	0.01	0.44	35	0	6	1	0.000	0.006	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	6	11:12:30...	0.01	0.01	0.45	35	0	6	1	0.000	0.006	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	7	11:12:31...	0.06	0.04	0.45	33	0	6	1	0.000	0.046	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	8	11:12:32...	0.42	0.32	0.49	35	0	6	1	0.000	0.361	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	9	11:12:33...	0.47	0.28	0.45	35	0	6	1	0.000	0.048	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	10	11:12:34...	0.48	0.18	0.47	34	0	9	1	0.000	0.417	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	11	11:12:35...	1.32	0.62	0.57	35	0	7	1	0.000	0.441	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	12	11:12:36...	1.69	0.98	0.71	35	1	7	1	0.236	0.367	0.00	0.00	0.047	--
In Transect	13	11:12:37...	2.06	1.34	0.73	13	1	7	1	0.413	0.367	0.00	0.00	0.123	--
In Transect	14	11:12:38...	2.43	1.71	0.75	11	14	7	1	0.279	0.367	0.00	0.00	0.106	--
In Transect	15	11:12:39...	2.79	2.08	0.76	10	17	7	1	0.100	0.367	0.00	0.00	0.269	--
In Transect	16	11:12:40...	3.16	2.44	0.78	10	16	7	1	0.241	0.367	0.00	0.00	0.330	--
In Transect	17	11:12:41...	3.25	2.53	0.70	11	16	7	1	0.484	0.067	0.00	0.00	0.032	--
In Transect	18	11:12:42...	3.86	2.87	0.74	10	18	7	1	0.755	0.600	0.00	0.00	0.651	--
In Transect	19	11:12:43...	4.46	3.29	0.98	11	23	7	1	0.632	0.609	0.00	0.00	1.013	--
In Transect	20	11:12:44...	4.87	3.61	1.09	11	26	7	1	0.571	0.403	0.00	0.00	1.263	--
In Transect	21	11:12:45...	5.27	3.95	1.01	11	29	7	1	0.820	0.403	0.00	0.00	1.500	--
In Transect	22	11:12:46...	5.67	4.29	1.04	10	31	7	1	0.893	0.403	0.00	0.00	1.962	--
In Transect	23	11:12:47...	4.43	4.33	1.03	10	36	7	1	1.174	0.403	0.00	0.00	3.452	--

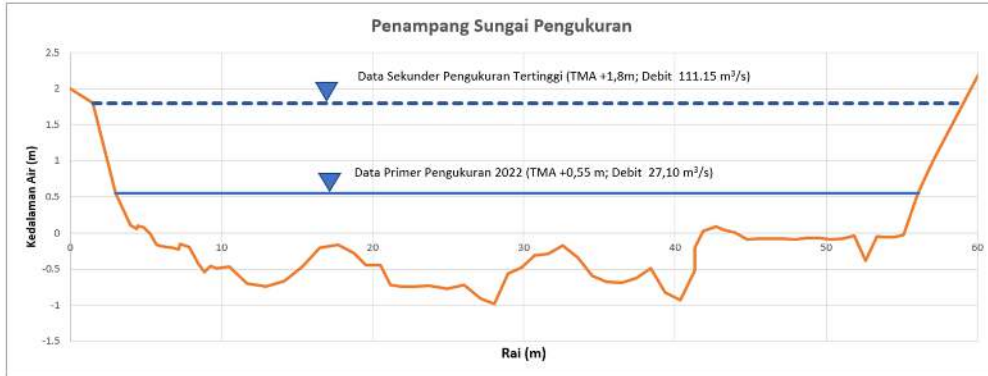
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Serang – Pos Duga Air Guwo (Pengamatan, 2022)

Step	Sample	Time	Track (m)	DMG (m)	Depth (m)	# Pings	# Cells	Satellites	GPS Qual...	Mean Speed (m/s)	Boat Speed (m/s)	Left Q (m ³ /s)	Right Q (m ³ /s)	Total Q (m ³ /s)	Corrected T (m ³ /s)
Start Edge...	1	11:38:23...	0.03	0.03	0.48	35	0	5	1	0.000	0.028	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	2	11:38:24...	0.04	0.04	0.48	33	0	5	1	0.000	0.016	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	3	11:38:25...	0.06	0.03	0.47	35	0	5	1	0.000	0.014	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	4	11:38:26...	0.09	0.03	0.47	35	0	5	1	0.000	0.027	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	5	11:38:27...	0.03	0.03	0.47	33	0	6	1	0.000	0.028	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	6	11:38:28...	0.06	0.06	0.43	35	0	5	1	0.000	0.032	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	7	11:38:29...	0.09	0.07	0.49	35	0	5	1	0.000	0.030	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	8	11:38:30...	0.29	0.23	0.51	33	0	5	1	0.000	0.190	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	9	11:38:31...	0.59	0.49	0.58	35	0	5	1	0.000	0.358	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	10	11:38:32...	0.93	0.79	0.67	31	1	5	1	0.510	0.301	0.00	0.00	0.102	--
In Transect	11	11:38:33...	1.17	1.11	0.72	35	1	5	1	0.212	0.333	0.00	0.00	0.137	--
In Transect	12	11:38:34...	1.92	1.44	0.54	10	15	5	1	0.451	0.333	0.00	0.00	0.227	--
In Transect	13	11:38:35...	1.81	1.76	0.77	11	19	5	1	0.532	0.328	0.00	0.00	0.338	--
In Transect	14	11:38:36...	2.19	2.10	0.90	11	19	5	1	0.462	0.356	0.00	0.00	0.474	--
In Transect	15	11:38:37...	2.58	2.50	0.92	11	24	5	1	0.627	0.396	0.00	0.00	0.601	--
In Transect	16	11:38:38...	3.03	2.94	0.56	10	26	4	1	0.732	0.446	0.00	0.00	0.909	--
In Transect	17	11:38:39...	3.48	3.40	1.00	11	24	4	1	0.767	0.452	0.00	0.00	1.233	--
In Transect	18	11:38:40...	3.89	3.91	0.96	11	23	4	1	0.963	0.413	0.00	0.00	1.286	--
In Transect	19	11:38:41...	4.24	4.15	0.87	9	23	4	1	0.942	0.346	0.00	0.00	1.412	--
In Transect	20	11:38:42...	4.53	4.44	0.91	11	20	4	1	0.534	0.292	0.00	0.00	1.340	--
In Transect	21	11:38:43...	4.89	4.73	0.92	10	22	4	1	0.641	0.318	0.00	0.00	1.699	--

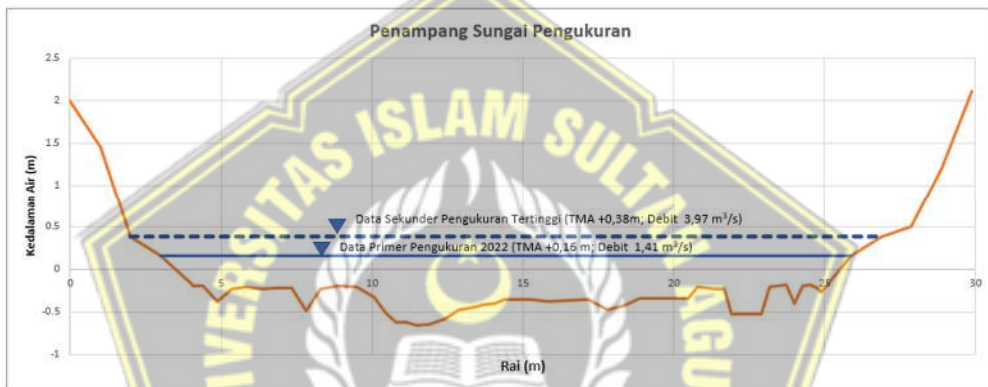
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Laban – Pos Duga Air Jenglong (Pengamatan, 2022)

Step	Sample	Time	Track (m)	DMG (m)	Depth (m)	# Pings	# Cells	Satellites	GPS Qual...	Mean Speed (m/s)	Boat Speed (m/s)	Left Q (m ³ /s)	Right Q (m ³ /s)	Total Q (m ³ /s)	Corrected T (m ³ /s)
Start Edge...	1	1:24:03 PM	0.04	0.04	0.44	17	0	7	1	0.000	0.043	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	2	1:24:04 PM	0.08	0.00	0.41	31	0	7	1	0.000	0.039	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	3	1:24:04 PM	0.11	0.11	0.43	35	0	8	1	0.000	0.033	0.00	0.00	0.000	--
Start Edge...	4	1:24:05 PM	0.14	0.19	0.43	35	0	8	1	0.000	0.023	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	5	1:24:06 PM	0.01	0.01	0.43	34	0	8	1	0.000	0.009	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	6	1:24:07 PM	0.02	0.02	0.43	35	0	8	1	0.000	0.016	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	7	1:24:08 PM	0.04	0.04	0.43	35	0	8	1	0.000	0.019	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	8	1:24:09 PM	0.12	0.11	0.43	34	0	8	1	0.000	0.076	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	9	1:24:10 PM	0.36	0.35	0.71	35	0	8	1	0.000	0.240	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	10	1:24:11 PM	0.60	0.59	0.58	35	0	8	1	0.000	0.344	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	11	1:24:12 PM	0.82	0.80	0.39	34	0	8	1	0.000	0.213	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	12	1:24:13 PM	1.03	1.02	0.48	35	0	8	1	0.000	0.213	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	13	1:24:14 PM	1.22	1.20	0.38	35	0	7	1	0.000	0.191	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	14	1:24:15 PM	1.46	1.43	0.37	34	0	7	1	0.000	0.243	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	15	1:24:16 PM	1.74	1.71	0.35	35	0	7	1	0.000	0.278	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	16	1:24:17 PM	2.11	2.07	0.35	35	0	7	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	17	1:24:18 PM	2.48	2.44	0.35	34	0	7	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	18	1:24:19 PM	2.85	2.80	0.42	35	0	7	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	19	1:24:20 PM	3.22	3.17	0.42	35	0	7	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	20	1:24:21 PM	3.58	3.54	0.39	34	0	6	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--
In Transect	21	1:24:22 PM	3.95	3.90	0.39	35	0	6	1	0.000	0.369	0.00	0.00	0.000	--

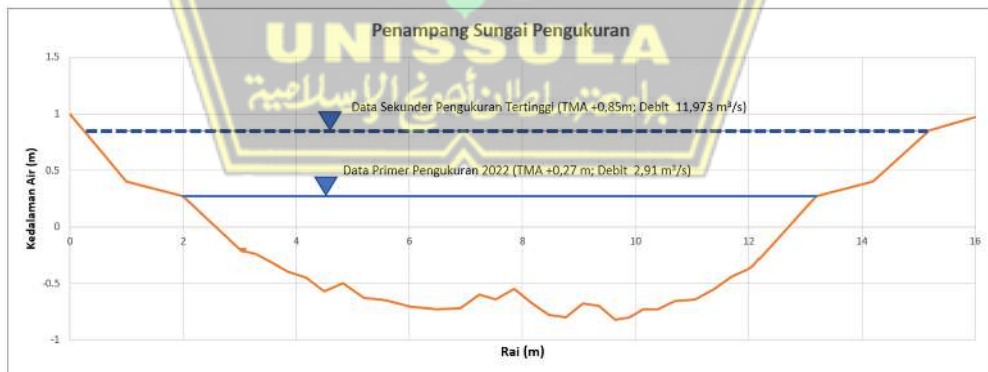
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Debit dengan Aplikasi RiverSurveyor-Live dan ADCP pada Sungai Uter – Pos Duga Air Girmargo (Pengamatan, 2022)



Gambar 4.9 Penampang Sungai Serang – Pos Duga Air Guwo (Pengamatan, 2022)



Gambar 4.10 Penampang Sungai Laban – Pos Duga Air Jengglong (Pengamatan, 2022)



Gambar 4.11 Penampang Sungai Uter – Pos Duga Air Girimargo (Pengamatan, 2022)

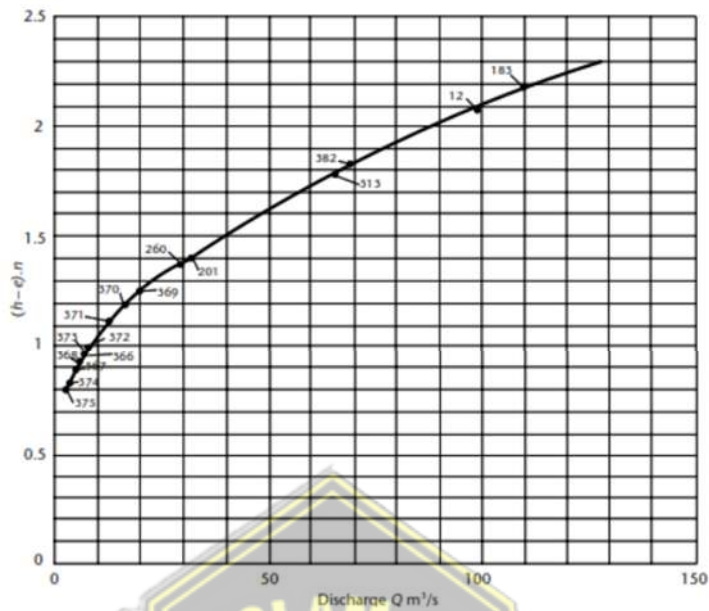
Berdasarkan hasil pengukuran debit dan penampang sungai pada lokasi Pos Duga Air didapatkan penampang basah serta debit pada pengukuran tahun 2022. Berdasarkan pengukuran pada tanggal 19 dan 15 Mei 2022

didapatkan hasil pengamatan yaitu pada PDA Guwo saat TMA 0,55 m memiliki debit sebesar $27,098 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan arus $0,562 \text{ m/s}$. Adapun luas penampang basah sebesar $48,191 \text{ m}^2$ dan lebar muka air sebesar $53,9 \text{ m}$. PDA Guwo saat TMA $0,16 \text{ m}$ memiliki debit sebesar $1,41 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan arus $0,112 \text{ m/s}$. Adapun luas penampang basah sebesar $11,57 \text{ m}^2$ dan lebar muka air sebesar $21,4 \text{ m}$. PDA Girimargo saat TMA $0,27 \text{ m}$ memiliki debit sebesar $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan arus $0,341 \text{ m/s}$. Adapun luas penampang basah sebesar $8,52 \text{ m}^2$ dan lebar muka air sebesar $9,38 \text{ m}$.

Data sekunder yang diperoleh dapat dijadikan acuan sebagai gambaran kondisi penampang saat tinggi muka air tinggi di musim penghujan. Pada Gambar 4.9-4.11 dapat dilihat penampang sungai dengan plot TMA saat pengukuran tahun 2022 dan saat TMA tertinggi yang pernah di ukur. Adapun data pendukung lain yang didapatkan dari pengamatan citra satelit didapatkan lebar sungai berturut-turut adalah Serang(PDA Guwo) $\pm 60 \text{ m}$, Laban (PDA Jengglong) $\pm 30 \text{ m}$, dan Uter (PDA Girimargo) $\pm 30 \text{ m}$. Kedalaman maksimum sungai terhadap jembatan secara berurutan $\pm 5 \text{ m}$, $\pm 4,5 \text{ m}$, dan $\pm 4 \text{ m}$.

4.2 Penyusunan Lengkung Debit

Penentuan nilai A, B dan H0 merupakan inti dari penyusunan lengkung debit. Adapun referensi yang digunakan adalah berdasarkan acuan World Meteorological Organization (WMO). Berdasarkan acuan digunakan kurva lengkung debit menggunakan persamaan eksponen dengan Debit sebagai sumbu X dan Tinggi muka air sebagai sumbu Y.



$$Q = C(h - e)^\beta \quad (1.9)$$

Gambar 4.12 Contoh Lengkung Debit berdasarkan WMO (World Meteorological Organization et al., 1980)

Berdasarkan acuan utama oleh WMO ini telah diformulasikan oleh Kementerian PUPR menjadi persamaan dalam Prosedur dan Instruksi Kerja Direktorat Jenderal SDA kedalam persamaan 2-9.

$$Q = A(H - H_0)^B \quad (4-1)$$

(Direktorat Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2009)

Dimana :

Q = debit (m³/dt)

H = tinggi muka air (m)

H₀ = tinggi muka air pada saat aliran sama dengan nol

A,B = konstanta

4.2.1 Penentuan Nilai H0

Berdasarkan referensi yang digunakan penentuan H0 sebaiknya ditentukan berdasarkan pengamatan dasar sungai lokasi. Penentuan Nilai H0 pada Analisis kali ini menggunakan data H0 yang telah di ukur pada saat pengukuran debit terakhir. Didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.6 Tabulasi Nilai H0

PDA	H0 (m)	Tanggal
Guwo	-0,60	19/11/2021
Jengglong	-0,20	11/11/2021
Girimargo	0,00	11/11/2021

4.2.2 Perhitungan Nilai A dan B

Menggunakan metode *Least Square* dapat diperkirakan koefisien lengkung debit untuk masing-masing persamaan lengkung debit pos duga air di hulu waduk Kedungombo. Tahap awal dalam perhitungan Nilai A dan B adalah mengurutkan data pengukuran yang ada dari mulai TMA terendah ke TMA tertinggi. Berikut adalah rekapitulasi Data Pengukuran Masing-Masing Pos yang sudah diurutkan.

Tabel 4.7 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Guwo

Rank	TMA (m)	Debit (m ³ /s)
1	-0,52	0,68
2	-0,52	0,73
3	-0,50	1,12
4	-0,50	5,99
5	-0,21	2,68
6	-0,20	10,65
7	-0,04	3,16
8	0,00	4,65
9	0,10	6,61
10	0,30	9,14
11	0,33	10,28
12	0,38	12,77
13	0,55	27,10
14	1,21	58,54
15	1,80	111,15

Tabel 4.8 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Jengglong

Rank	TMA (m)	Debit (m ³ /s)
1	0,00	0,30
2	0,00	0,35
3	0,05	0,41
4	0,10	1,00
5	0,10	0,43
6	0,13	0,51
7	0,15	0,53
8	0,16	1,41
9	0,18	1,19
10	0,23	1,94
11	0,25	2,12
12	0,28	2,47
13	0,30	2,87
14	0,34	3,25
15	0,35	3,17
16	0,38	3,88
17	0,38	3,97

Tabel 4.9 Ranking Data Pengukuran Pos Duga Air Girimargo

Rank	TMA (m)	Debit (m ³ /s)
1	0,18	0,04
2	0,22	0,16
3	0,23	0,16
4	0,25	1,20
5	0,25	2,47
6	0,25	0,18
7	0,27	2,91
8	0,29	0,30
9	0,30	1,77
10	0,30	0,51
11	0,30	1,20
12	0,33	1,83
13	0,35	1,10
14	0,37	1,09
15	0,45	3,55
16	0,48	4,79
17	0,55	5,87
18	0,68	10,30
19	0,85	11,07
20	0,85	11,97

Berikut adalah tabel perhitungan yang digunakan untuk menghitung variabel $\sum_{i=1}^N(X_i)$, $\sum_{i=1}^N(Y_i)$, $\sum_{i=1}^N(X_i Y_i)$ dan $\sum_{i=1}^N(X_i)^2$ yang akan dipakai dalam perhitungan koefisien A dan B. Berikut adalah tabulasi perhitungan untuk masing masing Pos Duga Air.

Tabel 4.10 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Guwo

H ₀ = -0,60 m			Guwo				
No	TMA (H)	Q	(H-H ₀)	X _i Log (H-H ₀)	Y _i (LogQ)	(X _i Y _i)	(X _i) ²
1	-0,52	0,68	0,08	-1,10	-0,17	0,18	1,20
2	-0,52	0,73	0,08	-1,10	-0,14	0,15	1,20
3	-0,50	1,12	0,10	-1,00	0,05	-0,05	1,00
4	-0,50	5,99	0,10	-1,00	0,78	-0,78	1,00
5	-0,21	2,68	0,39	-0,41	0,43	-0,17	0,17
6	-0,20	10,65	0,40	-0,40	1,03	-0,41	0,16
7	-0,04	3,16	0,56	-0,25	0,50	-0,13	0,06
8	0,00	4,65	0,60	-0,22	0,67	-0,15	0,05
9	0,10	6,61	0,70	-0,15	0,82	-0,13	0,02
10	0,30	9,14	0,90	-0,05	0,96	-0,04	0,00
11	0,33	10,28	0,93	-0,03	1,01	-0,03	0,00
12	0,38	12,77	0,98	-0,01	1,11	-0,01	0,00
13	0,55	27,10	1,15	0,06	1,43	0,09	0,00
14	1,21	58,54	1,81	0,26	1,77	0,46	0,07
15	1,80	111,15	2,40	0,38	2,05	0,78	0,14
Total				-5,017	12,289	-0,242	5,086

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Jengglong

H ₀ = -0,20 m			Jengglong				
No	TMA (H)	Q	(H-H ₀)	X _i Log (H-H ₀)	Y _i (LogQ)	(X _i Y _i)	(X _i) ²
1	0,00	0,30	0,20	-0,70	-0,52	0,36	0,49
2	0,00	0,35	0,20	-0,70	-0,45	0,32	0,49
3	0,05	0,41	0,25	-0,60	-0,39	0,24	0,36
4	0,10	1,00	0,30	-0,52	0,00	0,00	0,27
5	0,10	0,43	0,30	-0,52	-0,36	0,19	0,27
6	0,13	0,51	0,33	-0,48	-0,29	0,14	0,23
7	0,15	0,53	0,35	-0,46	-0,27	0,12	0,21
8	0,16	1,41	0,36	-0,44	0,15	-0,07	0,20
9	0,18	1,19	0,38	-0,42	0,08	-0,03	0,18

H ₀ = -0,20 m			Jengglong				
No	TMA (H)	Q	(H-H ₀)	X _i Log (H-H ₀)	Y _i (LogQ)	(X _i Y _i)	(X _i) ²
10	0,23	1,94	0,43	-0,37	0,29	-0,11	0,13
11	0,25	2,12	0,45	-0,35	0,33	-0,11	0,12
12	0,28	2,47	0,48	-0,32	0,39	-0,13	0,10
13	0,30	2,87	0,50	-0,30	0,46	-0,14	0,09
14	0,34	3,25	0,54	-0,27	0,51	-0,14	0,07
15	0,35	3,17	0,55	-0,26	0,50	-0,13	0,07
16	0,38	3,88	0,58	-0,24	0,59	-0,14	0,06
17	0,38	3,97	0,58	-0,24	0,60	-0,14	0,06
Total				-7,181	1,595	0,245	3,397

Tabel 4.12 Tabel Perhitungan X_i dan Y_i Pos Duga Air Girimargo

H ₀ = 0,00 m			Girimargo				
No	TMA (H)	Q	(H-H ₀)	X _i Log (H-H ₀)	Y _i (LogQ)	(X _i Y _i)	(X _i) ²
1	0,18	0,04	0,18	-0,74	-1,37	1,02	0,55
2	0,22	0,16	0,22	-0,66	-0,80	0,53	0,43
3	0,23	0,16	0,23	-0,64	-0,79	0,51	0,41
4	0,25	1,20	0,25	-0,60	0,08	-0,05	0,36
5	0,25	2,47	0,25	-0,60	0,39	-0,24	0,36
6	0,25	0,18	0,25	-0,60	-0,74	0,45	0,36
7	0,27	2,91	0,27	-0,57	0,46	-0,26	0,32
8	0,29	0,30	0,29	-0,54	-0,52	0,28	0,29
9	0,30	1,77	0,30	-0,52	0,25	-0,13	0,27
10	0,30	0,51	0,30	-0,52	-0,29	0,15	0,27
11	0,30	1,20	0,30	-0,52	0,08	-0,04	0,27
12	0,33	1,83	0,33	-0,48	0,26	-0,13	0,23
13	0,35	1,10	0,35	-0,46	0,04	-0,02	0,21
14	0,37	1,09	0,37	-0,43	-1,05	0,45	0,19
15	0,45	3,55	0,45	-0,35	0,55	-0,19	0,12
16	0,48	4,79	0,48	-0,32	0,68	-0,22	0,10
17	0,55	5,87	0,55	-0,26	0,77	-0,20	0,07
18	0,68	10,30	0,68	-0,17	1,01	-0,17	0,03
19	0,85	11,07	0,85	-0,07	1,04	-0,07	0,00
20	0,85	11,97	0,85	-0,07	1,08	-0,08	0,00
Total				-9,125	1,129	1,597	4,868

Berikut adalah contoh kalkulasi perhitungan koefisien A dan B menggunakan data Pos Duga Air Jengglong. Nilai B dapat diperhitungkan dengan Persamaan 2-7 sebagai berikut :

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N (X_i) (\sum_{i=1}^N (Y_i))}{N \sum_{i=1}^N (X_i)^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}$$

Dimana :

$$N = 17$$

$$\sum_{i=1}^N (X_i Y_i) = 0,245$$

$$\sum_{i=1}^N (X_i) = -7,181$$

$$\sum_{i=1}^N (Y_i) = 1,595$$

$$\sum_{i=1}^N (X_i)^2 = 3,397$$

Maka

$$B = \frac{17, (0,245) - ((-7,181), (1,595))}{17(3,397) - (-7,181)^2}$$

$$B = 2,505$$

Sedangkan Nilai A dapat diperhitungkan dengan Persamaan 2-8 sebagai berikut :

$$\text{Log}A = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i - B \sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$\text{Log}A = \frac{1,595 - 2,505(-7,181)}{17}$$

$$\text{Log}A = 1,145$$

$$A = 15,535$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan Nilai koefisien A dan B untuk persamaan lengkung debit Pos Duga Air Jengglong.

$$A = 15,535$$

$$B = 2,505$$

Rumus lengkung debit dapat ditentukan menggunakan persamaan 2-9.

$$Q = A (H - H_0)^B$$

Maka persamaan lengkung debit untuk pos duga air jengglong adalah

$$Q = 15,536 * (H + 0,2)^{2,505}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan nilai H0, Koefisien A dan B serta persamaan lengkung debit untuk ketiga Pos adalah sebagai berikut.

Tabel 4.13 Rekapitulasi H0, A, B dan Persamaan Lengkung Debit

Nama Pos	Ho	A	B	Rumus Lengkung Debit (Rating Curve)
Pos Duga Air Guwo	-0,600	13,230	2,431	$Q = 13,23 * (H + 0,6)^{2,432}$
Pos Duga Air Jengglong	-0,200	15,535	2,505	$Q = 15,536 * (H + 0,2)^{2,505}$
Pos Duga Air Girimargo	0,000	17,127	2,203	$Q = 17,128 * (H + 0,0)^{2,203}$

4.2.3 Lengkung Debit dan Tabel Debit

Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilakukan perhitungan debit berdasarkan data TMA menggunakan persamaan lengkung debit yang ada. Berikut adalah tabulasi perhitungan lengkung debit yang ada menggunakan tabel debit

Tabel 4.14 Tabel Debit Pos Duga Air Guwo

TMA (m)	Q (m3/det)	TMA (m)	Q (m3/det)	TMA (m)	Q (m3/det)
-0,600	0,000	0,900	35,466	2,400	191,390
-0,500	0,049	1,000	41,493	2,500	207,277
-0,400	0,264	1,100	48,085	2,600	223,916
-0,300	0,708	1,200	55,256	2,700	241,316
-0,200	1,425	1,300	63,021	2,800	259,488
-0,100	2,452	1,400	71,395	2,900	278,441
0,000	3,820	1,500	80,389	3,000	298,186
0,100	5,557	1,600	90,019	3,100	318,733
0,200	7,689	1,700	100,296	3,200	340,090
0,300	10,239	1,800	111,233	3,300	362,267
0,400	13,230	1,900	122,843	3,400	385,274
0,500	16,681	2,000	135,137	3,500	409,120
0,600	20,612	2,100	148,128	3,600	433,813
0,700	25,042	2,200	161,826		
0,800	29,988	2,300	176,243		

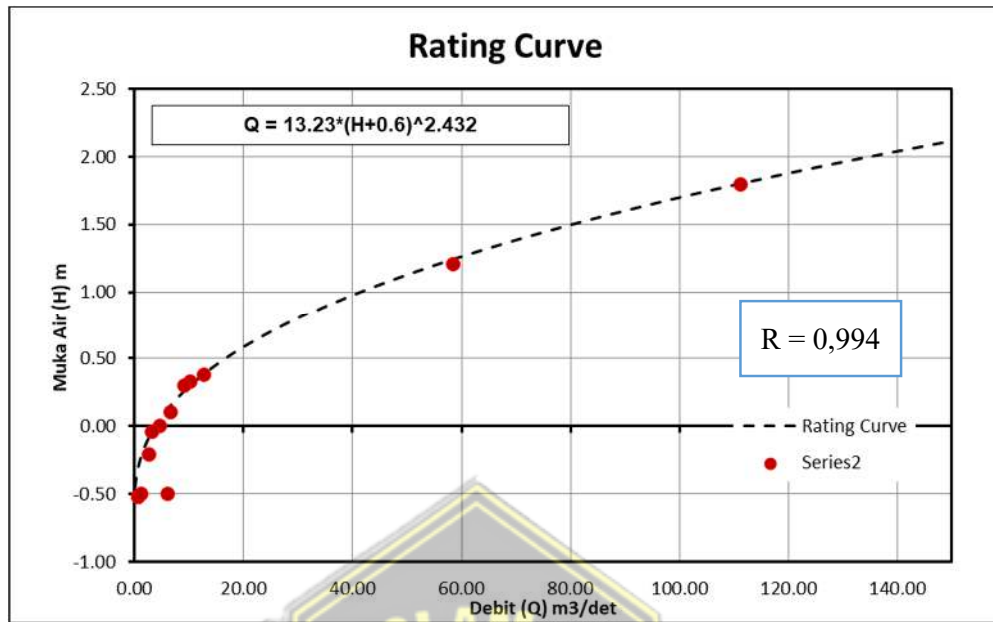
Tabel 4.15 Tabel Debit Pos Duga Air Jengglong

TMA (m)	Q (m ³ /det)	TMA (m)	Q (m ³ /det)	TMA (m)	Q (m ³ /det)
-0,200	0,000	0,900	19,725	2,000	111,972
-0,100	0,049	1,000	24,529	2,100	125,161
0,000	0,276	1,100	29,976	2,200	139,241
0,100	0,761	1,200	36,090	2,300	154,234
0,200	1,565	1,300	42,899	2,400	170,156
0,300	2,737	1,400	50,427	2,500	187,027
0,400	4,321	1,500	58,697	2,600	204,866
0,500	6,358	1,600	67,732	2,700	223,690
0,600	8,883	1,700	77,556	2,800	243,516
0,700	11,932	1,800	88,190	2,900	264,363
0,800	15,536	1,900	99,655	3,000	286,246

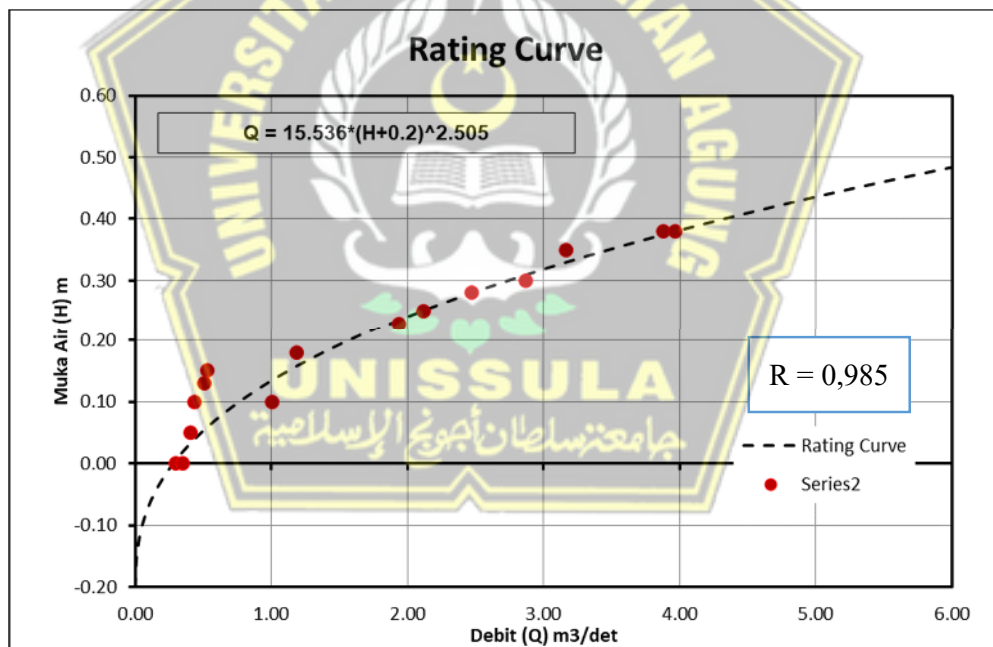
Tabel 4.16 Tabel Debit Pos Duga Air Girimargo

TMA (m)	Q (m ³ /det)	TMA (m)	Q (m ³ /det)	TMA (m)	Q (m ³ /det)
0,000	0,000	1,400	35,944	2,800	165,499
0,100	0,107	1,500	41,844	2,900	178,801
0,200	0,494	1,600	48,237	3,000	192,666
0,300	1,207	1,700	55,130	3,100	207,098
0,400	2,275	1,800	62,528	3,200	222,102
0,500	3,720	1,900	70,437	3,300	237,680
0,600	5,559	2,000	78,863	3,400	253,837
0,700	7,807	2,100	87,812	3,500	270,576
0,800	10,476	2,200	97,289	3,600	287,900
0,900	13,580	2,300	107,298	3,700	305,812
1,000	17,128	2,400	117,845	3,800	324,317
1,100	21,130	2,500	128,934	3,900	343,417
1,200	25,594	2,600	140,570	4,000	363,116
1,300	30,530	2,700	152,757		

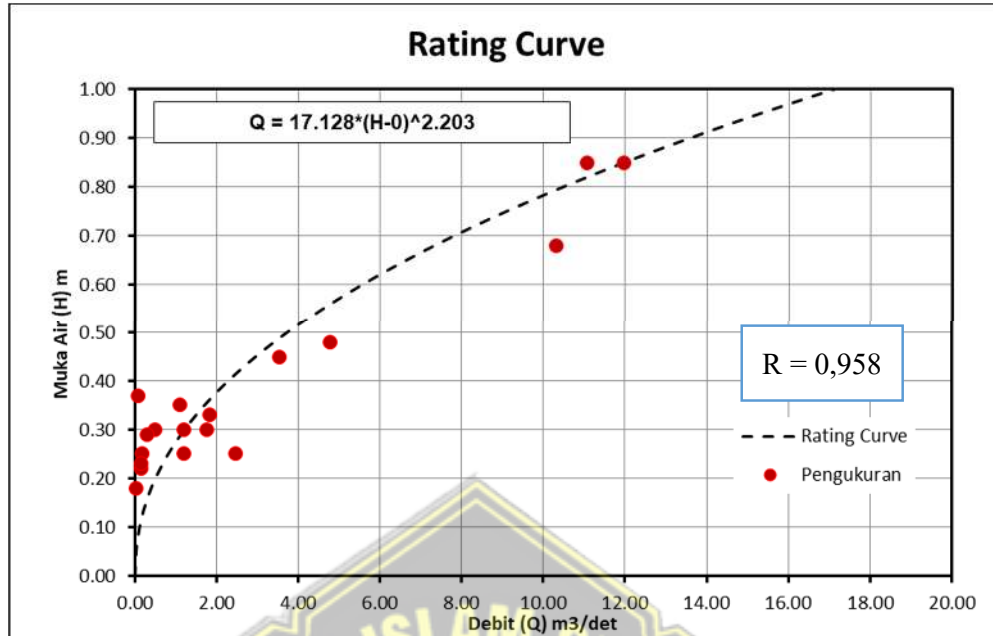
Selanjutnya data pada tabel debit dapat di proyeksikan ke dalam *Rating Curve* (Debit-TMA) sebagai berikut. Data pengukuran dapat di plot pada *Rating Curve* untuk melihat kemiripan antara data pengukuran dengan perkiraan debit melalui TMA.



Gambar 4.13 Lengkung Debit Pos Duga Air Guwo



Gambar 4.14 Lengkung Debit Pos Duga Air Jengglong



Gambar 4.15 Lengkung Debit Pos Duga Air Girimargo

4.3 Validasi dan Evaluasi Data

Proses validasi data akan menggunakan perhitungan error yang dihasilkan antara tabel debit dan data pengukuran yang ada. Jenis error yang akan dihitung adalah nilai Korelasi, Error value, MSE dan RMSE. Nilai-nilai tersebut dan bentuk daripada lengkung debit itu sendiri akan menjadi dasar evaluasi akurasi-anomali yang ada pada masing-masing pos duga air. Hasil evaluasi akan menjadi rekomendasi dalam pengelolaan pos hidrologi yang ada terkait penyesuaian atau mitigasi dari anomali yang ada.

4.3.1 Perhitungan Nilai RMSE (Root Mean Square Error)

Nilai RMSE digunakan sebagai pertimbangan lain dalam tahap evaluasi lengkung debit. Semakin kecil nilai RMSE menandakan semakin baik model yang ada dalam meramalkan kondisi yang diamati. Hal ini juga akan mempengaruhi kinerja pos duga air. Sehingga dapat mempermudah penilaian kondisi pos saat dilakukan inspeksi pos duga air.

Tabel 4.17 Perhitungan Nilai RMSE – Guwo

$H_0 =$	-0,60	m	Guwo		
No	TMA (H)	Q_o (Observed)	Q_F (Forecasted)	$ Q_o - Q_F $	$(Q_o - Q_F)^2$
1	-0,52	0.68	0.028	0.65	0.42
2	-0,52	0.73	0.028	0.70	0.49
3	-0,50	1.12	0.049	1.07	1.14
4	-0,50	5.99	0.049	5.94	35.27
5	-0,21	2.68	1.340	1.34	1.78
6	-0,20	10.65	1.425	9.23	85.10
7	-0,04	3.16	3.230	0.07	0.00
8	0,00	4.65	3.820	0.83	0.69
9	0,10	6.61	5.557	1.06	1.11
10	0,30	9.14	10.239	1.10	1.21
11	0,33	10.28	11.089	0.81	0.66
12	0,38	12.77	12.596	0.17	0.03
13	0,55	27.10	18.586	8.51	72.49
14	1,21	58.54	56.006	2.53	6.42
15	1,80	111.15	111.233	0.08	0.01
Total				34,09	206.84
RMSE				1,62	

Tabel 4.18 Perhitungan Nilai RMSE – Jenglong

$H_0 =$	-0.20	m	Jengglong		
No	TMA (H)	Q_o (Observed)	Q_F (Forecasted)	$ Q_o - Q_F $	$(Q_o - Q_F)^2$
1	0,00	0.30	0.276	0.03	0.00
2	0,00	0.35	0.276	0.08	0.01
3	0,05	0.41	0.482	0.08	0.01
4	0,10	1.00	0.761	0.24	0.06
5	0,10	0.43	0.761	0.33	0.11
6	0,13	0.51	0.967	0.46	0.21
7	0,15	0.53	1.120	0.59	0.35
8	0,16	1.41	1.202	0.21	0.04
9	0,18	1.19	1.376	0.19	0.03
10	0,23	1.94	1.876	0.07	0.00
11	0,25	2.12	2.102	0.02	0.00
12	0,28	2.47	2.471	0.00	0.00
13	0,30	2.87	2.737	0.13	0.02
14	0,34	3.25	3.319	0.07	0.00

H ₀ =	-0.20	m	Jengglong		
No	TMA (H)	Q _O (Observed)	Q _F (Forecasted)	Q _O -Q _F	(Q _O -Q _F) ²
15	0,35	3.17	3.475	0.31	0.10
16	0,38	3.88	3.969	0.09	0.01
17	0,38	3.97	3.969	0.00	0.00
Total				2,87	0.94
RMSE				0,44	

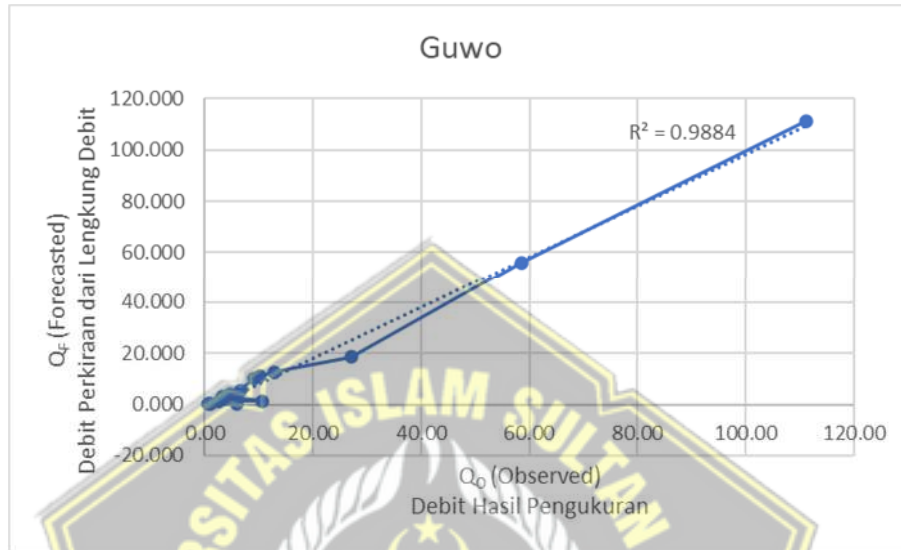
Tabel 4.19 Perhitungan Nilai RMSE – Girimargo

H ₀ =	0,00	m	Girimargo		
No	TMA (H)	Q _O (Observed)	Q _F (Forecasted)	Q _O -Q _F	(Q _O -Q _F) ²
1	0,18	0.04	0.392	0.35	0.12
2	0,22	0.16	0.610	0.45	0.20
3	0,23	0.16	0.672	0.51	0.26
4	0,25	1.20	0.808	0.39	0.15
5	0,25	2.47	0.808	1.66	2.77
6	0,25	0.18	0.808	0.63	0.39
7	0,27	2.91	0.957	1.95	3.81
8	0,29	0.30	1.120	0.82	0.67
9	0,30	1.77	1.207	0.56	0.32
10	0,30	0.51	1.207	0.70	0.49
11	0,30	1.20	1.207	0.01	0.00
12	0,33	1.83	1.489	0.34	0.12
13	0,35	1.10	1.695	0.60	0.36
14	0,37	1.09	1.916	1.83	3.34
15	0,45	3.55	2.949	0.60	0.36
16	0,48	4.79	3.400	1.39	1.93
17	0,55	5.87	4.589	1.28	1.64
18	0,68	10.30	7.324	2.98	8.86
19	0,85	11.07	11.973	0.90	0.81
20	0,85	11.97	11.973	0.00	0.00
Total				17,96	26.61
RMSE				1,00	

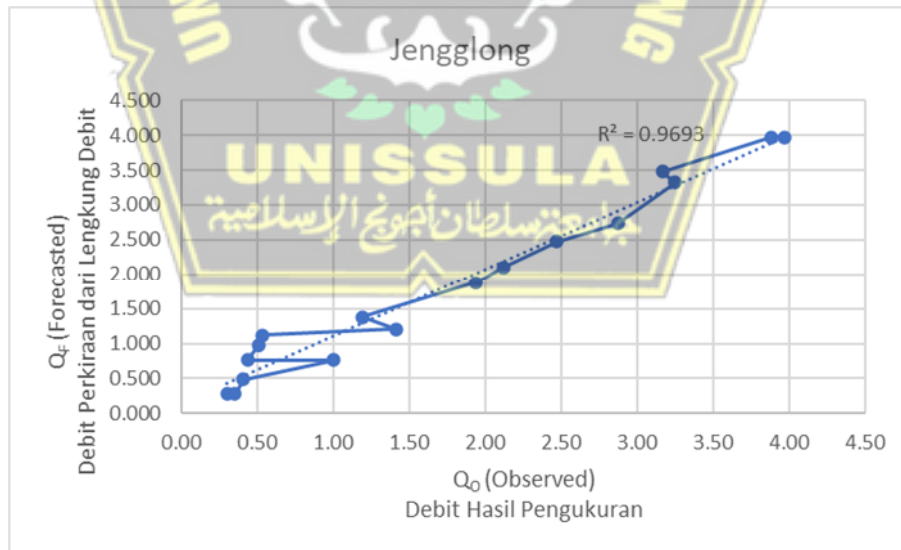
4.3.2 Perhitungan Korelasi

Berdasarkan tabel perhitungan RMSE pada tinggi muka air yang sama pada setiap data pengukuran, dapat dihitung nilai korelasi dengan metode regresi antara Debit peramalan dengan debit pengukuran yang digambarkan

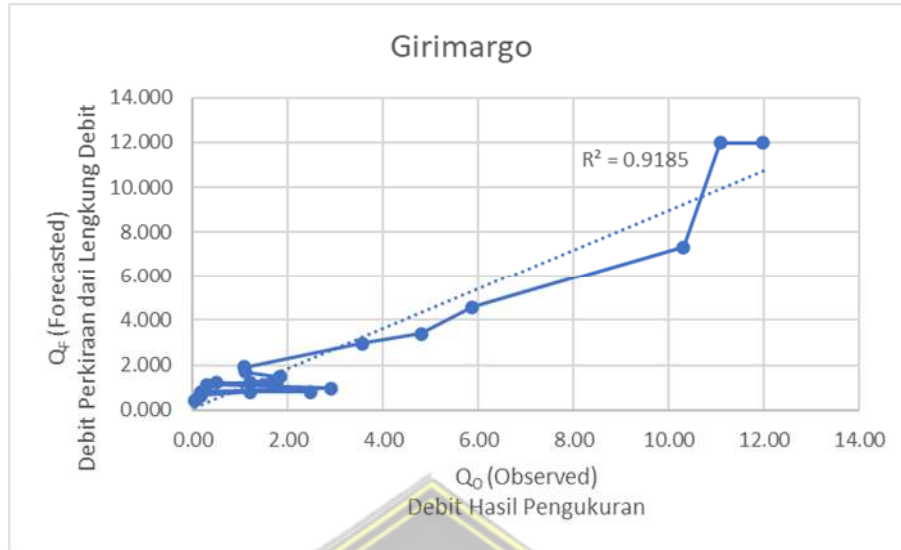
dengan grafik hubungan Debit Peramalan-Pengamatan. Berdasarkan grafik tersebut melalui analisis linearitas dapat diperoleh nilai korelasi antar keduanya. Berikut adalah Grafik hubungan antara Debit Peramalan-Pengamatan beserta nilai korelasi antara keduanya.



Gambar 4.16 Grafik hubungan antara Debit Peramalan-Pengamatan Pos Duga Air Guwo



Gambar 4.17 Grafik hubungan antara Debit Peramalan-Pengamatan Pos Duga Air Jengglong



Gambar 4.18 Grafik hubungan antara Debit Peramalan-Pengamatan Pos Duga Air Girimargo

Berdasarkan grafik-grafik diatas didapatkan nilai Variasi (R^2) antara peramalan dan pengamatan di masing-masing pos. Nilai Korelasi (R) masing-masing pos adalah sebagai berikut.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Nilai Variasi dan Korelasi

Nama Pos	Variasi (R^2)	Korelasi (R)
Pos Duga Air Guwo	0,988	0,994
Pos Duga Air Jenglong	0,969	0,985
Pos Duga Air Girimargo	0,919	0,958

4.3.3 Evaluasi terhadap Kontrol Lengkung Debit

Berdasarkan Fluktuasi muka air, sebaran plot data pengukuran terhadap lengkung debit, nilai korelasi serta nilai RMSE dapat dilakukan evaluasi masing-masing pos duga air dalam meramalkan debit yang ada.

Berdasarkan sebaran data pengukuran terhadap lengkung debit dapat diamati bahwa :

- a. Pos Duga Air Guwo memiliki sebaran yang mengindikasikan scour and fill pada muka air rendah dengan nilai korelasi $R=0,994$ dan $RMSE=1,62$. Dapat dikatakan penampang yang terpantau dan rutin

terukur tidak mengalami perubahan hubungan TMA-Debit yang signifikan.

- b. Pos Duga Air Jengglong memiliki sebaran yang mengindikasikan scour and fill pada penampang sungai dengan nilai korelasi $R=0,985$ dan $RMSE=0,44$. Dapat dikatakan penampang yang terpantau dan rutin terukur mengalami perubahan hubungan TMA-Debit dari waktu ke waktu.
- c. Pos Duga Air Girimargo memiliki sebaran yang mengindikasikan scour and fill pada penampang sungai korelasi $R=0,958$ dan $RMSE=1,00$. Dapat dikatakan penampang yang terpantau dan rutin terukur mengalami perubahan hubungan TMA-Debit dari waktu ke waktu.

Ketiga lokasi menghasilkan persamaan lengkung debit yang memiliki kecenderungan ketelitian rendah pada Tinggi muka air rendah terlihat dari sebaran kuadrat selisih dari debit peramalan dan debit pengukuran pada perhitungan RMSE. Hal ini bisa disebabkan akibat perubahan bentuk dasar sungai akibat erosi dan sedimentasi sungai yang mempengaruhi penampang dan kecepatan arus pada lokasi pengamatan, sedangkan pada TMA sedang dan tinggi lebih dipengaruhi dari debit penampang secara keseluruhan serta lebih sedikit nya data pengukuran yang ada pada TMA sedang-tinggi.

4.3.4 Manfaat Lengkung Debit

Kurva dan Persamaan Lengkung debit yang telah disusun ini utamanya akan digunakan sebagai sarana konversi data pengamatan pos duga air yang berupa Tinggi Muka Air/TMA (cm) menjadi data perkiraan debit sungai (m^3/s) dengan bantuan lengkung debit dan tabel debit yang telah dibuat. Adapun pemanfaatan lain daripada lengkung debit ini dapat digunakan sebagai salah satu cara pemantauan dan prakiraan debit dalam sistem peramalan dan peringatan dini banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System/FFEWS*). Prakiraan debit dari bacaan tinggi muka air dan didukung dengan data pengamatan real time pos curah hujan milik BBWS Pemali Juana dapat digunakan untuk *input* model prakiraan cuaca dan debit sungai beberapa jam ke depan sehingga dapat membantu Kementerian/Lembaga terkait dalam melakukan mitigasi dan penanganan jika sewaktu-waktu ada

indikasi terjadi bencana banjir pada WS Jratunseluna khususnya DAS Serang-Lusi di Hulu Sungai Waduk Kedungombo.

Model cuaca untuk *Flood Forecasting and Early Warning System*/FFEWS perlu diteliti lebih lanjut terkait akurasi peramalan dengan kondisi lapangan, agar didapat model cuaca yang optimal dalam meramalkan debit banjir sungai yang ditinjau. Lengkung debit dapat di koreksi menyesuaikan keadaan penampang sungai dan perubahan dasar sungai yang terjadi, sehingga perlu dilakukan *updating* lengkung debit untuk memastikan akurasi prakiraan debit yang dihasilkan.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis serta perhitungan yang telah dilakukan pada analisis lengkung debit ini maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan antara lain :

- a. Telah diperoleh data primer berupa pengukuran debit dan penampang sungai tahun 2022 dengan debit terukur pada ketiga lokasi adalah PDA Guwo (27,098 m³/s), PDA Jengglong (1,41 m³/s), dan PDA Girimargo (2,91 m³/s). Lebar sungai secara berurutan adalah ±60 m, ±30 m dan ±30 m. Kedalaman sungai ketiga lokasi berkisar antara 4-5 meter. Adapun data pendukung lain seperti TMA minimal dan maksimal ketiga lokasi berkisar antara -0,52 hingga 4 m. Dengan debit maksimal terukur secara berurutan 111,15 m³/s, 3,97 m³/s, dan 11,97 m³/s.
- b. Persamaan lengkung debit untuk ketiga pos duga air yang diamati secara berurutan adalah PDA Guwo ($Q = 13,23 * (H + 0,6)^{2,432}$), PDA Jengglong ($Q = 15,536 * (H + 0,2)^{2,505}$) dan PDA Girimargo ($Q = 17,128 * (H + 0,0)^{2,203}$). Ketiga lengkung debit tersebut mengindikasikan *scour dan fill* pada dasar penampangan dengan nilai korelasi dan RMSE secara berurutan adalah PDA Guwo (R=0,998 dan RMSE=1,62), PDA Jengglong (R=0,985 dan RMSE=0,44) dan PDA Girimargo (R=0,961 dan RMSE=1,00). Ketiga lengkung debit memiliki ketelitian lebih rendah pada TMA bacaan rendah akibat adanya *scour and fill* pada lokasi.

Lengkung debit yang telah disusun akan digunakan untuk konversi data pengamatan tinggi muka air di pos duga air menjadi data perkiraan debit sungai (m³/s). Adapun pemanfaatan lain daripada lengkung debit ini dapat digunakan sebagai salah satu cara pemantauan dan prakiraan debit dalam sistem peramalan dan peringatan dini banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System/FFEWS*) dan perlu diteliti lebih lanjut.

5.2 Saran

- a. Sebaiknya Pos duga air yang ada menggunakan teknologi terbaru yaitu sensor lidar yang lebih sensitif terhadap perubahan muka air dibanding alat eksisting yang berbasis bandul.
- b. Pencatatan data telemetri sebaiknya dalam interval sempit misalkan per 5 menit untuk menambah data TMA dan debit sewaktu yang ada, karena kondisi eksisting masih menggunakan interval 1 jam.
- c. Implementasi teknologi *software* terbaru seperti python dalam perhitungan lengkung debit berbasis web akan memudahkan integrasi data antar *stakeholder*



DAFTAR PUSTAKA

- Alizadeh, F., Gharamaleki, A. F., & Jalilzadeh, R. (2021). A Two-stage Multiple-Point Conceptual Model to Predict River Stage-discharge Process Using Machine Learning Approaches. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 278–295. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.006>
- Andritechindo. (2022). *Andritechindo Webpage*.
<https://andritechnindo.com/services/telemetry/>
- Asnaning, A. R., & Putra, S. D. (2018). Flood Early Warning System Using Cognitive Artificial Intelligence: The Design of AWLR Sensor. *2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation, ICITSI 2018 - Proceedings*, 165–170.
<https://doi.org/10.1109/ICITSI.2018.8695948>
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 8066: Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai Dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus Dan Pelampung. *SNI 8066:2015 Badan Standardisasi Nasional*, 40.
- BBWS Pemali Juana, K. P. (2021). *Laporan Inspeksi Pos Hidrologi BBWS Pemali Juana Tahun 2022*.
- DHV Consultants BV, Delft Hydraulics, Halcrow, Tahal, CES, ORG, & JPG. (1999). How to Establish Stage Discharge Rating Curve. In *Training Module SWDP-29* (Issue November). World Bank & Government of The Netherlands funded.
- Di Baldassarre, G., & Claps, P. (2011). A Hydraulic Study on the Applicability of Flood Rating Curves. *Hydrology Research*, 42(1), 10–19.
<https://doi.org/10.2166/nh.2010.098>
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai*.
- Direktorat Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2009). *Prosedur dan Instruksi Kerja Pembuatan Lengkung Debit (Rating Curve) Nomor QA/HDR/04/2009*. 20.
- Fahmi, N. M., Suprayogi, I., & Fauzi, M. (2017). Model Hubungan Antara Tinggi Muka Air-Debit Menggunakan Pendekatan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis). 23(5), 48–57.
- Goel, A. (2011). ANN-Based Approach for Predicting Rating Curve of an Indian River. *ISRN Civil Engineering*, 2011, 1–4.
<https://doi.org/10.5402/2011/291370>
- Gujral, A., Bhalla, A., & Biswas, D. (2015). Automatic water level and water quality monitoring. *January*, 511–523.
https://doi.org/10.36487/acg_rep/1508_35_gujral
- Kim, S. E., Shin, J., Seo, I. W., & Lyu, S. (2016). Development of Stage-discharge Rating Curve Using Hydraulic Performance Graph Model. *Procedia Engineering*, 154, 334–339.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.486>
- Larosa, F., Ferdiansyah, A., Galihkusuma, L., Windatingsih, D., & Seizarwati, W. (2014). *Model Sistem Kendali Mutu Data Hidrologi Nasional* (Issue 022).

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.
- Mansanarez, V., Renard, B., Coz, J. Le, Lang, M., & Darienzo, M. (2019). Shift Happens! Adjusting Stage-Discharge Rating Curves to Morphological Changes at Known Times. *Water Resources Research*, 55(4), 2876–2899. <https://doi.org/10.1029/2018WR023389>
- McMillan, H. K., & Westerberg, I. K. (2015). Rating curve estimation under epistemic uncertainty. *Hydrological Processes*, 29(7), 1873–1882. <https://doi.org/10.1002/hyp.10419>
- Negatu, T. A., Zimale, F. A., & Steenhuis, T. S. (2022). *Establishing Stage – Discharge Rating Curves in Developing Countries: Lake Tana Basin, Ethiopia*. 1–26.
- Neno, A. K., Harijanto, H., & Wahid., A. (2016). Hubungan Debit Air dan Tinggi Muka Air di Sungai Lambagu Kecamatan Tawaeli Kota Palu. *Warta Rimba*, 4(2), 1–8.
- Novandi, A. S., Wasino, & Jayusman. (2019). Dampak Pembangunan Waduk Kedung Ombo Terhadap Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat Petani Di Kabupaten Grobogan Tahun 1989 – 1998. *Indonesian Journal of Conservation*, 8(2), 122–130.
- Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). Penhantar Hidrologi. In *Pengantar Hidrologi*. AURA. http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR_HIDROLOGI.pdf
- United State Geological Survey (USGS), & Sauer, V. (2002). Standards for the Analysis and Processing of Surface-Water Data and Information Using Electronic Methods, Water-Resources Investigations Report 01-4044. *US Geological Survey Water Resources Investigations, Report 01-*, 106.
- United State Geological Survey (USGS), United State Department of the Interior, Turnipseed, D. P., & Sauer, V. B. (2010). Discharge Measurements at Gaging Stations. In *Techniques of Water-Resources Investigation, Book 3, Chapter A8*. United State Geological Survey (USGS).
- Water Survey of Canada, Rainville, F., Hutchinson, D., Stead, A., Moncur, D., & Elliott, D. (2016). *Hydrometric Manual – Data Computations Stage-Discharge Model Development and Maintenance*. Water Survey of Canada Weather and Environmental Monitoring Directorate Issued under the authority of the Assistant Deputy Minister, Meteorological Service of Canada.
- World Meteorological Organization, Rantz, S. E., & Herschy, R. W. (1980). *Manual on Stream Gauging Volume II - Computation of Discharge*. Secretariat of the WMO.
- World Meteorological Organization, Rantz, S. E., Herschy, R. W., & Sauer. (2010). *Manual on Stream Gauging Volume II - Computation of Discharge (WMO-No. 1044): Vol. II (Issue 1044)*.
- Zakariah, R. Bin, Othman, N. B., Yusoff, M. A. bin M., & Altowayti, W. A. H. (2021). Determination of Stage Discharge Rating Curve at Sungai Batang Melaka. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(3), 248–261. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.56.3.21>



LAMPIRAN