

**ANALISA DAN RASIONALISASI KERAPATAN JARINGAN
STASIUN HUJAN DENGAN METODE KAGAN-RODDA DI SUB DAS
LAHOR MALANG JAWA TIMUR**

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PENGETAHUAN DASAR

TEKNIK SDA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YUDHO PUTRA ISLAMIYANTO
NIM. 155060401111016**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“ANALISA DAN RASIONALISASI KERAPATAN STASIUN HUJAN DENGAN METODE KAGAN-RODDA DI SUB DAS LAHOR MALANG “** tidak akan berakhir dengan baik tanpa restu-Nya, serta sholawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita semua Nabi Besar Muhammad SAW beserta kepada keluarga dan sahabat - sahabatnya.

Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan laporan ini masih banyak kekurangan, sehingga laporan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis dalam proses penulisan laporan yang memakan waktu dan tenaga.

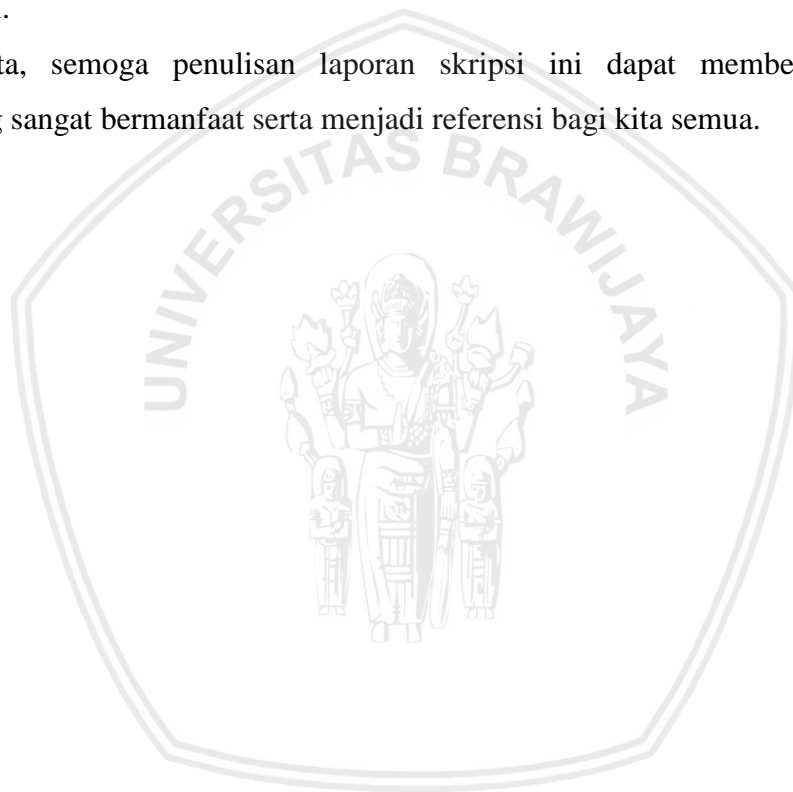
Dalam pengerjaan laporan skripsi ini tentu saja banyak pihak yang turut membantu dalam kelancaran penulisan, untuk itu penulis ingin berterima kasih sebesar – besarnya antara lain kepada :

1. Ayahanda Sutiyono dan Ery Ismaningtias tercinta atas do'a, perhatian, kasih sayang, serta motivasi yang tak henti-hentinya dalam penulisan laporan skripsi dan selama masa studi di Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Kakak Bagus Septivianto atas perhatian, serta dukungan yang tak henti-hentinya selama masa studi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir Lily Montarcih L., M.Sc. dan Sri Wahyuni, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan kesabarannya telah membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST,MT, dan Ibu Rahma Dara Lufira, ST,MT. selaku penguji I, dan II yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis dalam penyempurnaan skripsi in

5. UPTD SDA Kepanjen atas ketersediaannya dalam penyajian data yang penulis butuhkan dalam penyelesaian laporan skripsi ini.
6. Saudara M. Fachreza Alghozalie dan Zulfikar Rifqi atas dukungan dan motivasi selama mengerjakan laporan skripsi
7. Rekan – rekan Keluarga Besar Mahasiswa Pengairan, khususnya kepada rekan pengairan 2015 atas bantuannya yang luar biasa.
8. Dan seluruh pihak yang namanya tidak bisa disebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis baik secara moril dan materil.

Dengan ini penulis mengharapkan saran dan kritik yang konstruktif guna kesempurnaan laporan skripsi ini.

Akhir kata, semoga penulisan laporan skripsi ini dapat memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat serta menjadi referensi bagi kita semua.



Malang, Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN.....	x
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan	4
1.6 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Analisis Data Hujan.....	6
2.2.1 Pengisian Data Hilang	6
2.2.2 Uji Konsistensi Data	7
2.3 Penyaringan Data Hujan	8
2.3.1 Uji Ketidadaan Trend.....	8
2.3.2 Uji Stasioner	9
2.3.2.1 Uji T.....	9
2.3.2.2 Uji F.....	9
2.3.3 Uji <i>Inlier-Outlier</i> Data.....	10
2.4 Curah Hujan Rerata Daerah.....	12
2.4.1 Cara Tinggi Rata-rata.....	11
2.4.2 Cara <i>Polygon Thiessen</i>	12
2.4.2 Metode Isohyet	13
2.5 Jaringan Stasiun Penakar Hujan	14

2.6	Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Hujan	16
2.6.1	Cara WMO (<i>World Meteorological Organization</i>).....	17
2.6.2	Cara Kagan-Rodda	18
2.7	Analisis Jaringan Kagan- Rodda	19
2.7.1	Koefisien Variasi	19
2.7.2	Koefisien Korelasi.....	20
2.7.3	Perencanaan Jaringan Kagan-Rodda.....	22
2.8	Konsep Perbedaan Studi yang Dilakukan dengan Studi Terdahulu.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Lokasi Studi	27
3.2	Data-data yang Diperlukan.....	31
3.3	Prosedur Pengolahan Data.....	31
3.3.1	Analisa Hidrologi	31
3.3.1	Analisa Kagan-Rodda.....	31
3.4	Diagram Alir Penyelesaian.....	33
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....		35
4.1	Penyiapan Data.....	35
4.2	Pengelolaan Data Hujan	35
4.2.1	Uji Konsistensi Data.....	35
4.2.1.1	Uji Konsistensi Data Curah Hujan Pos Stasiun Hujan	36
4.2.2	Uji Ketiadaan Trend	39
4.2.2.1	Metode Spearman	39
4.2.2.2	Metode Mann and Whitney	41
4.2.2.3	Metode Cox And Stuart	42
4.2.3	Uji Stasioner	44
4.2.3.1	Uji Kestabilan Varian dan Uji Kestabilan Nilai Rata-Rata .	43
4.2.3.2	Rekapitulasi Hasil Uji Stasioner	46
4.2.4	Uji Inlier-Outlier.....	47
4.3	Curah Hujan Rerata Daerah	48
4.3.1	Membuat Poligon Thiessen	49
4.3.2	Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah	52
4.4	Analisa Jaringan Stasiun Hujan Dengan Standart WMO.....	53
4.5	Analisa Jaringan Stasiun Hujan Dengan Metode Kagan Rodda	54
4.6	Rasionaliasi Kerapatan Stasiun Hujan Dengan Metode Kagan Rodda.....	65

BAB V PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN		



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

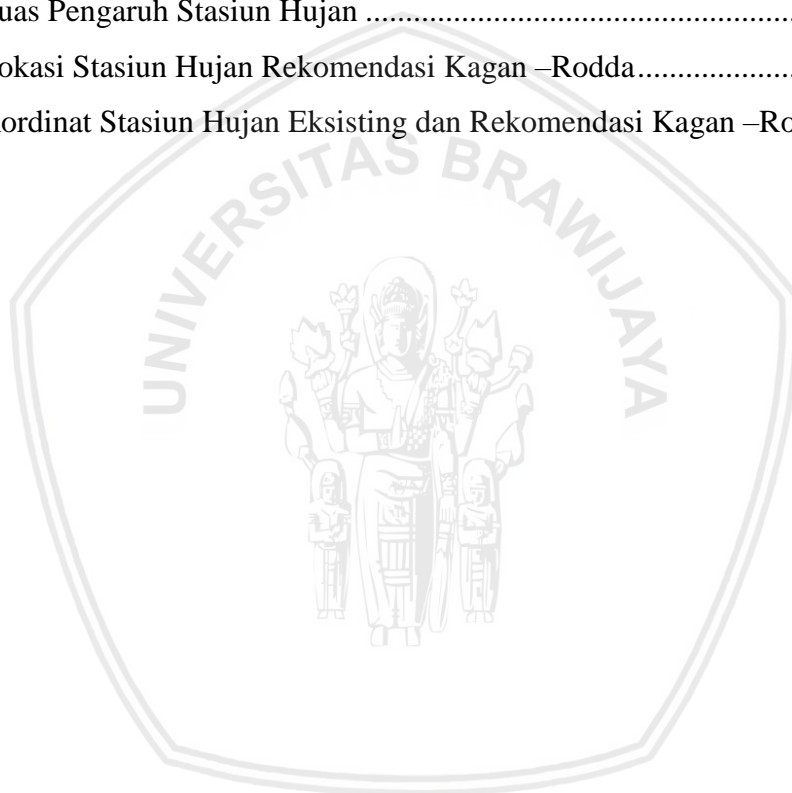


DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai K_n untuk Uji <i>Inlier-Outlier</i>	11
Tabel 2.2	Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan Seluruh Provinsi di Indonesia	18
Tabel 2.3	Perbedaan Studi dengan Studi Terdahulu.....	26
Tabel 3.1	Stasiun Hujan pada Sub DAS	30
Tabel 4.1	Stasiun Hujan pada Sub DAS Lahor	35
Tabel 4.2	Uji Konsistensi Kurva Massa Ganda Pos Stasiun Hujan Pohgajih Sebelum Terkoreksi.....	36
Tabel 4.3	Uji Konsistensi Kurva Massa Ganda Pos Stasiun Hujan Pohgajih Sesudah Terkoreksi.....	39
Tabel 4.4	Rekapitulasi Nilai α Sebelum dan Sesudah Dikoreksi	39
Tabel 4.5	Ketiadaan <i>Trend</i> Metode Spearman Stasiun Hujan Pohgajih	41
Tabel 4.6	Uji Mann dan Whitney Stasiun Hujan Pohgajih	42
Tabel 4.7	Uji Cox dan Stuart Stasiun Hujan Pohgajih	42
Tabel 4.8	Rekapitulasi ketiadaan Trend Uji Korelasi Metode Spearman	43
Tabel 4.9	Rekapitulasi ketiadaan Trend Mann and Whitney	44
Tabel 4.10	Rekapitulasi ketiadaan Trend Cox and Stuart	44
Tabel 4.11	Pembagian Kelompok Uji F Curah Hujan Tahunan Stasiun Pohgajih.	44
Tabel 4.12	Rekapitulasi Hasil Uji F	46
Tabel 4.13	Rekapitulasi Hasil Uji T	46
Tabel 4.14	Data Hujan di Stasiun Pohgajih.....	47
Tabel 4.15	Hasil Uji <i>Inlier-Outlier</i> Stasiun Hujan Pohgajih.....	48
Tabel 4.16	Faktor Koreksi Luas Pengaruh Poligon Thiessen.....	52
Tabel 4.17	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah.....	53
Tabel 4.18	Kerapatan Stasiun Stasiun Hujan Berdasarkan Standar WMO.....	53
Tabel 4.19	Koefisien Variasi Curah Hujan Rerata Daerah.....	55
Tabel 4.20	Koefisien Korelasi Hujan Kumulatif Tahunan.....	56
Tabel 4.21	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Karangsuiko	56
Tabel 4.22	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Ngajum.....	57



Tabel 4.23	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Tlekung.....	58
Tabel 4.24	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung dan Karangsono.	58
Tabel 4.25	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung dan Ngajum	59
Tabel 4.26	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung dan Tlekung.....	60
Tabel 4.27	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Karangsono dan Ngajum	60
Tabel 4.28	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Karangsono dan Tlekung.....	61
Tabel 4.29	Koefisien Korelasi Antara Stasiun Ngajum dan Tlekung	62
Tabel 4.30	Rekapitulasi Koefisien Korelasi Hujan Kumulatif Tahunan.....	62
Tabel 4.31	Kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan Interpolasi (Z_3)	64
Tabel 4.32	Luas Pengaruh Stasiun Hujan	71
Tabel 4.33	Lokasi Stasiun Hujan Rekomendasi Kagan –Rodda.....	71
Tabel 4.34	Kordinat Stasiun Hujan Eksisting dan Rekomendasi Kagan –Rodda..	71



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Analisis Kurva Massa Ganda	7
Gambar 2.2	Poligon <i>Thiessen</i>	13
Gambar 2.3	Korelasi antar stasiun hujan pada Suatu DAS	23
Gambar 2.4	Hubungan antara jumlah stasiun dan besar kesalahan rata-rata	24
Gambar 2.5	Contoh Jaringan Kagan-Rodda.....	25
Gambar 3.1	Lokasi Studi	29
Gambar 3.2	Peta Batas Sub DAS Lahor.....	30
Gambar 3.3	Sebaran Stasiun Hujan di Sub DAS Lahor.....	32
Gambar 3.4	Bagan Alir Penyelesaian Studi	35
Gambar 3.5	Bagan Alir Penyelesaian Kagan-Rodda	36
Gambar 4.1	Grafik kurva massa ganda Pohgajih Sebelum Terkoreksi.....	37
Gambar 4.2	Grafik kurva massa ganda Pohgajih Sesudah Terkoreksi	38
Gambar 4.3	Tampilan Muka ArcGis 10.5	49
Gambar 4.4	<i>Visualisasi Input</i> Dasa <i>SHP</i> pada ArcGis 10.5.....	50
Gambar 4.5	<i>Visualisasi</i> Pembuatan Poligon Thieesen pada ArcGis 10.5	50
Gambar 4.6	<i>Poligon Thiessen</i> Stasiun Hujan Eksisting	51
Gambar 4.7	Hubungan Korelasi dan Jarak Antar Stasiun Hujan	63
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Stasiun Z_1 dan Z_3 pada Sub DAS Lahor	65
Gambar 4.9	Tampilan Awal Halaman Kerja ArcGisc 10.5.....	66
Gambar 4.10	Merubah file <i>SHP</i> kedalam bentuk <i>CAD</i>	67
Gambar 4.11	Hasil Input Data Digitasi pada <i>AutoCAD</i> 2017	67
Gambar 4.12	Proses Penggambaran Jaring-Jaring Kagan-Rodda.....	68
Gambar 4.13	Stasiun Hujan Rekomendasi dengan Jaring-jaring Kagan –Rodda.....	69
Gambar 4.14	Polygon Thiessen Stasiun Hujan Terpilih Kagan - Rodda.....	70

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





RINGKASAN

Yudho Putra Islamiyanto, Jurusan Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2019, *Analisa dan Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan Dengan Menggunakan Metode Kagan – Rodda, di Sub Das Lahor, Malang, Jawa Timur*. Dosen Pembimbing : Lily Montarcih L dan Sri Wahyuni.

Jumlah dan letak stasiun hujan menjadi hal yang perlu diperhatikan terkait ketersediaan data hujan. Data hujan yang dihasilkan dari pencatatan stasiun hujan dianggap mewakili suatu wilayah yang memiliki distribusi hujan yang berbeda satu sama lain. Apabila stasiun hujan yang terpasang tidak sesuai dengan kondisi fisik wilayah, maka data hujan yang dihasilkan tidak mampu mewakili kejadian hujan di wilayah tersebut dan dapat mempengaruhi kualitas data hujan.

Studi ini menggunakan metode Kagan – Rodda dengan berpedoman pada standar WMO (World Meteorological Organization) dalam menentukan jumlah dan pola sebaran stasiun hujan di Sub DAS Lahor. Sub DAS Lahor dengan luas 186,111 km² memiliki 1 stasiun hujan yang terletak di dalam Sub DAS Lahor dan 4 stasiun hujan yang terletak di sekitar Sub DAS Lahor. Kondisi ini kurang efektif jika dilihat dari pola sebaran dan luas pengaruhnya.

Menurut standar WMO, stasiun hujan yang dibutuhkan pada Sub DAS Lahor berjumlah 1 stasiun dengan luas pengaruh 100 km²/stasiun. Sedangkan dengan metode Kagan – Rodda pada Sub DAS Lahor membutuhkan 3 stasiun hujan dengan masing – masing luas daerah pengaruhnya. Stasiun hujan yang terpilih dari metode Kagan – Rodda berdasarkan perhitungan Kesalahan Perataan (Z_1) dan Kesalahan Interpolasi (Z_3) dengan masing – masing memiliki nilai kurang dari 5%. Selanjutnya dihasilkan luas pengaruh dari setiap stasiun hujan yang terpilih.

Kata kunci : jumlah dan letak stasiun, standar WMO, Kagan – Rodda.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Yudho Putra Islamiyanto, Departement of Water Resouces Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, October 2019,Analysys and Rationalization of Rainguage Networks Using Kagan – Rodda Method in Lahor Watershed, Malang Regency, East Java. Academic Supervisor : Lily Montarcih L dan Sri Wahyuni.

The number and location of rain stations is a matter of concern regarding the availability of rain data. Rain data generated from recording rain stations are considered to represent an area that has different rain distribution. If the installed rain station is not in accordance with the physical condition of the area, the resulting rain data is not able to represent the rainfall events in the area and can affect the quality of the rain data.

This study uses the Kagan-Rodda method based on the WMO (World Meteorological Organization) standard in determining the number and distribution patterns of rain stations in the Lahor Watershed. The Lahor watershed with an area of 186,111 km² has 1 rain station located within the Lahor watershed and 4 rain stations located around the Lahor watershed. This condition is less effective when seen from the pattern of distribution and area of influence.

According to WMO standards, the required rain stations in the Lahor Sub-watershed are 1 station with an area of influence of 100 km² / station. Whereas the Kagan-Rodda method in Lahor watershed requires 3 rain stations with each area of influence. Rain stations selected from the Kagan-Rodda method are based on the calculation of Leveling Errors (Z1) and Interpolation Errors (Z3) with each value of less than 5%. Furthermore, the area of influence from each rain station chosen was generated.

Key Words : number and location of stations, WMO standart, Kagan – Rodda.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan substansi yang paling melimpah di permukaan bumi, merupakan komponen utama bagi semua makhluk hidup, dan merupakan kekuatan utama yang secara konstan membentuk permukaan bumi. Air juga merupakan faktor penentu dalam pengaturan iklim di permukaan bumi untuk kehidupan manusia (Indarto, 2010;3).

Dalam analisa hidrologi untuk perencanaan dan perancangan bangunan hidraulik, secara umum diperlukan masukan data hujan sebagai masukan utama. Namun dalam penetapan besaran hujan yang terjadi dalam suatu DAS terdapat 2 hal yang menjadi masalah yang harus dipertimbangkan, yaitu jumlah stasiun hujan dalam DAS dan pola penyebaran stasiun hujan dalam DAS tersebut. (Sri Harto,1981;1).

Jumlah dan letak hujan menjadi hal yang perlu diperhatikan terkait ketersediaan data hujan. Data hujan yang dihasilkan dari pencatatan stasiun hujan dianggap mewakili suatu wilayah yang memiliki distribusi hujan yang berbeda satu sama lain.

Apabila stasiun hujan yang terpasang tidak sesuai dengan kondisi fisik wilayah, maka data hujan yang dihasilkan tidak mampu mewakili kejadian hujan di wilayah tersebut dan dapat mempengaruhi kualitas data hujan. Kesalahan dalam pemantauan data dasar hidrologi dalam suatu DAS akan menghasilkan data siap pakai yang tidak benar dan mengakibatkan hasil perencanaan, penelitian, dan pengolahan sumber daya air yang tidak efisien dan tidak efektif. Jumlah pos hujan perlu ditetapkan secara optimal, karena jumlah yang terlalu kecil akan mengurangi data hujan yang diperkirakan besar hujan yang sebenarnya terjadi dalam DAS. Sebaliknya bila Jumlah terlalu besar, berarti akan menyangkut waktu dan biaya yang besar dan untuk melakukan analisa hidrologi kadang-kadang timbul masalah, pos mana yang akan digunakan apakah seluruhnya atau sebagian.

Mengingat pula bahwa variabilitas hujan sangat besar, maka tidak hanya jumlah pos hujan saja yang penting, akan tetapi pola penempatan pos hujan tersebut mempunyai peran yang besar. Jumlah pos hujan yang terdapat dalam suatu DAS menentukan tingkat kesalahan perkiraan hujan. Jika semakin kecil jumlah pos hujan dibandingkan dengan jumlah pos hujan yang seharusnya ada, maka akan memberikan kesalahan perkiraan yang makin besar (Sri Harto, 2009:32).

Analisis curah hujan rancangan dilakukan untuk mengevaluasi jaringan stasiun hujan metode Kagan-Rodda, baik yang menggunakan metode *Normal*, *Gumbel*, *Log Normal*, atau *Log Pearson Tipe III* sehingga diketahui jaringan Kagan-Rodda yang sesuai dengan daerah tersebut. Hal ini diperlukan karena di dalam suatu pola jaringan dan kerapatan stasiun hujan, perbedaan jumlah dan letak stasiun hujan yang digunakan dalam memperkirakan besarnya hujan yang terjadi pada DAS akan memberikan perbedaan dalam besaran hujan yang didapatkan (Sri Harto,1993:23).

Evaluasi terhadap pola jaringan dan kerapatan stasiun hujan juga diperlukan untuk efisiensi biaya operasional dan pemeliharaan stasiun hujan di DAS tersebut, serta untuk tujuan pengujian metode penyiapan data di atas, maka ada studi yang membahasnya.

Berikut peneliti yang pernah melakukan penelitian terhadap pola jaringan dan kerapatan stasiun hujan dengan menggunakan metode Kagan-Rodda:

1. Shabrina Arifah, Ery Suhartanto, Dian Chandrasasi Rasionalisasi Jaringan Pos Stasiun Hujan Pada Das Kemuning Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Kagan-Rodda Dan Kriging Dengan Mempertimbangkan Aspek Topografi Universitas Brawijaya (2018)
2. Yuvika Rega Siswanti, Very Dermawan, Ery Suhartanto Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan – Rodda Dengan Memperhitungkan Faktor Topografi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sampean, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur Universitas Brawijaya (2018)
3. Nanang Rachmaddin, Lily Montarcih, Prima Hadi Wicaksono Studi Perbandingan Analisa Frekuensi Hujan Rata-Rata Berdasarkan Jaringan Stasiun Hujan Metode KAGAN RODDA di DAS Brantas Hulu Universitas Brawijaya (2018)
4. Yunaeni Suhartini, Rispiningtati, Lily Montarcih Studi Alternatif Penerapan Cara Kagan - Rodda Pada Evaluasi Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan di Sub DAS Widas Universitas Brawijaya (2018)
5. Henny Lukitosari, Lily Montarcih, Tri Budi Prayogo Kajian Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan Terhadap Bentuk DAS Berdasarkan Metode Kagan - Rodda di DAS Ringotok dan DAS Serinjing Universitas Brawijaya (2018)

1.2 Identifikasi Masalah

Penetapan dalam penentuan kerapatan jaringan stasiun hujan adalah hal yang sangat penting. Jumlah serta jarak antar stasiun yang satu dengan yang lainnya harus diperhitungkan sedemikian rupa agar data yang didapat adalah data yang akurat. Jaringan dalam pengertian ini dimaksudkan sebagai satu system yang terorganisir untuk

mengumpulkan data hidrologi secara optimum untuk berbagai kepentingan pokok yaitu tercapainya kerapatan jaringan yang optimum dan perolehan informasi yang maksimum. Sehingga dengan pengukuran dari satu stasiun dapat diperoleh variable hidrometeorologi di semua titik dengan ketelitian yang cukup. (Sri Harto, 1989)

Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lahor merupakan bagian dari DAS Brantas yang terletak di Kabupaten Malang merupakan Sub DAS prioritas di DAS Brantas Hulu dengan luasan 186,111 km² yang mempunyai permasalahan defisit muka air yang cukup tinggi (Ditjen SDA, 2014). Dengan adanya permasalahan di Sub DAS Lahor, maka studi kerapatan jaringan stasiun hujan di Sub DAS Lahor diperlukan agar kualitas dan kuantitas data yang didapat lebih baik dan perencanaan pengelolaan sumber daya air di DAS tersebut dapat lebih optimal.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menetapkan jumlah stasiun hujan yang efektif pada suatu DAS, diantaranya adalah metode Stepwise, Kriging, dan Kagan-Rodda. Tetapi hasil rekomendasi dengan metode Kagan-Rodda memiliki jumlah stasiun hujan lebih sedikit dibandingkan dengan metode yang lain. (Rodhita, 2012).

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka permasalahan dalam kajian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Networks*)?
2. Bagaimana kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan pada Sub DAS Lahor berdasarkan hasil analisa Kagan-Rodda?
3. Bagaimana rekomendasi rasionalisasi jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dalam Sub DAS Lahor?

1.4 Batasan Masalah

Agar penyelesaian permasalahan tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang diinginkan, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi studi pada Sub DAS Lahor Kabupaten Malang.
2. Data hujan diperoleh dari 5 stasiun hujan yaitu Sumberpuncung, Ngajum, Karangsono, Tlekung, Pohgajih selama 10 tahun (2008-2017).
3. Analisa kerapatan jaringan pos hujan dan pos duga air berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Networks*) menggunakan metode Poligon Thiessen.

4. Metode yang digunakan dalam penelitian rasionalisasi pos stasiun hujan adalah standar WMO dan metode Kagan-Rodda.
5. Studi ini tidak membahas tentang analisa curah hujan rancangan dan debit banjir rancangan.
6. Studi ini tidak membahas analisa ekonomi terkait penambahan atau relokasi stasiun hujan.
7. Studi ini tidak membahas spesifikasi teknik stasiun hujan.
8. Studi ini tidak membahas perencanaan jaringan stasiun hujan baru.

1.5 Tujuan

Tujuan dari studi ini adalah :

1. Mengetahui kondisi kerapatan jaringan pos hujan eksisting berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Networks*).
2. Mengetahui hasil analisa hubungan kerapatan jaringan stasiun hujan dengan metode Kagan-Rodda.
3. Mengetahui rekomendasi rasionalisasi jumlah stasiun hujan yang dibutuhkan dalam Sub DAS Lahor.

1.6. Manfaat

Adapun manfaat studi ini adalah :

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pola sebaran jaringan stasiun hujan yang optimal.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang perencanaan infrastruktur bangunan keairan khususnya stasiun hujan.
3. Memberi bahan pertimbangan tentang suatu jaringan stasiun hujan yang optimal untuk mendukung pengembangan sumber daya air ke instansi terkait.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi dimana bentuk presipitasi ini merupakan komponen yang sangat penting dalam proses hidrologi. Presipitasi merupakan suatu proses kondensasi dari uap air menjadi zat cair (hujan dan embun) maupun padat (salju dan es) yang jatuh dari atmosfer ke bumi dalam rangkaian siklus hidrologi.

Untuk menetapkan jumlah hujan yang jatuh di dalam suatu DAS, diperlukan sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga diperoleh data yang mewakili besaran hujan pada DAS yang bersangkutan. Data hujan sebagai masukan model analisis harus merupakan data yang dikumpulkan secara teratur dan teramati sehingga memberikan informasi yang cermat (Harto,1989, p.23).

Jaringan stasiun hujan merupakan sistem yang terorganisir untuk mengumpulkan data hujan secara optimal. Dimana perolehan data yang diharapkan adalah data yang maksimal dan kerapatan jaringan yang optimum.

Untuk mencapai kepentingan tersebut ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu (Harto,1993, p.20):

1. Kerapatan optimum mengandung arti jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh DAS.
2. Kerapatan hendaknya sedemikian rupa sehingga tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang semakin tinggi.
3. Penyebaran hendaknya dilakukan sedemikian rupa sehingga variabilitas ruang DAS dapat teramati dengan baik.

Dalam rangka mengantisipasi kesalahan dalam memantau data hidrologi yang mengakibatkan berkurangnya efektivitas dan efisiensi hasil perencanaan, penelitian, pengelolaan sumber daya air. Maka, WMO (*World Meteorological Organization*) memberikan pedoman kerapatan minimum di beberapa daerah seperti berikut ini (Linsley, 1989, p.67):

1. Untuk daerah datar pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, 100 sampai 900 km² (230 sampai 350 mil²)

2. Untuk daerah pegunungan pada zona beriklim sedang, mediteranian, dan tropis, sebesar 100 sampai 250 km² (40 sampai 100 mil²) untuk setiap stasiun.
3. Untuk pulau-pulau dengan pegunungan kecil dengan hujan yang tak beraturan, 25 km² (10 mil²) untuk setiap stasiun hujan.
4. Untuk zona-zona kering dan kutub, 1500 sampai 10000 km² (600 sampai 4500 mil²) untuk setiap stasiun.

Dengan demikian, berdasarkan pertimbangan di atas akan dilakukan analisa rasionalisasi untuk jumlah dan penyebaran stasiun hujan pada DAS Brantas. Analisa rasionalisasi ini akan mempertimbangkan faktor elevasi pada daerah studi yang dimaksud.

2.2 Analisis Data Hujan

2.2.1 Pengisian Data Hilang

Pada analisa hujan daerah, dibutuhkan data yang lengkap dari masing-masing stasiun yang ada. Seringkali pada suatu DAS terdapat data yang tidak lengkap hilang. Jika terjadi hal seperti ini maka data hujan yang hilang harus dilengkapi terlebih dahulu. Untuk mempermudah kesulitan analisis tersebut, kemudian dicoba untuk dapat memperkirakan besaran data yang hilang dengan membandingkannya dengan menggunakan data dari stasiun lain yang ada disekitarnya. Untuk melengkapi data hujan yang hilang bisa dilakukan jika (Limantara, 2008, p.71):

1. Disekitarnya ada pos penakar (minimal 2) yang lengkap datanya.
2. Pos penakar yang datanya hilang diketahui hujan rata-rata tahunannya. Secara umum, pengisian data hujan yang hilang dapat menggunakan 2 cara, yaitu:

a. Perbandingan Normal

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan :

- P_x = hujan yang hilang di stasiun x
- P₁, P₂, P₃, P_n = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama
- N_x = hujan tahunan di stasiun x
- N₁, N₂, N₃, N_n = hujan tahunan di stasiun sekitar x

Reciprocal Method

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan :

P_x = hujan yang hilang di stasiun x,

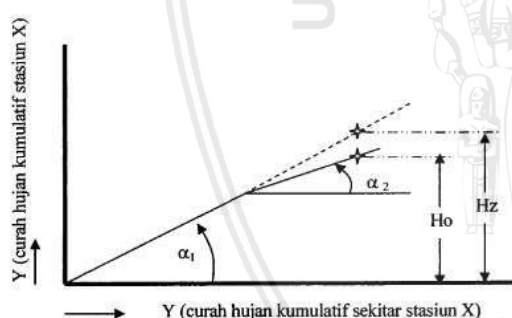
P_i = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama,

L_i = jarak antara stasiun hujan i dengan stasiun hujan x,

2.2.2 Uji Konsistensi Data

Uji yang akan digunakan dalam penulisan ini adalah uji lengkung massa ganda yang bertujuan untuk mengetahui di mana letak ketidak konsistennya suatu data yang di tunjukkan oleh penyimpangan garisnya dari garis lurus. Jika terjadi penyimpangan, maka data hujan dari stasiun yang diuji harus dikoreksi sesuai dengan perbedaan kemiringan garisnya.

Jika data hujan tidak konsisten karena perubahan atau gangguan lingkungan di sekitar tempat penakar hujan dipasang, misalnya penakar hujan terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatan, pemindahan letak penakar dan sebagainya, memungkinkan terjadi penyimpangan terhadap trend semula. Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Analisis Kurva Massa Ganda

Sumber: Harto, 1993:46

$$Hz = Fk * Ho \dots\dots\dots (2-3)$$

$$Fk = \tan \alpha / \tan \alpha_o \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan:

H_z = data hujan yang perlu diperbaiki

H_o = data hujan hasil pengamatan

F_k = faktor koreksi

$\tan \alpha$ = kemiringan garis sebelum ada perubahan

$\tan \alpha_o$ = kemiringan garis sesudah ada perubahan

2.3 Penyaringan Data Hujan

2.3.1 Uji Ketiadaan Trend

Uji ketidakhadiran trend dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya trend atau variasi dalam data. Apabila ada trend maka data tidak disarankan dalam analisis hidrologi. Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sama jenis.

Uji ketidakhadiran *trend* dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain Uji Korelasi Peringkat (KP) dengan Metode Spearman, Uji Mann dan Whitney, dan Uji Tanda dengan Metode Cox dan Stuart. Pada umumnya uji ketidakhadiran trend menggunakan Uji Korelasi Peringkat dengan Metode Spearman. Langkah – langkah yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. H_0 : data tidak mempunyai trend
2. H_1 : data mempunyai trend
3. α : 0,05
4. Statistik Uji

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{r=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$t = KP \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-6)$$

KP = koefisien korelasi peringkat Spearman

n = jumlah data

dt = selisih R_t dengan T_t

T_t = peringkat dari waktu

R_t = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala

t = nilai hitung uji t

2.3.2 Uji Stasioner

Hipotesis statistik dirumuskan untuk dapat dengan mudah menolak atau menerima dugaan yang dibuat. Pengujian hipotesis dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian dua sisi dan pengujian satu sisi. Beberapa uji statistik metode parametrik yang sering digunakan untuk analisa hidrologi antara lain (Soewarno, 1995, p.7):

- Uji Distribusi Normal
- Uji-T (*Tee-test*), t
- Uji-Chi Kuadrat

- Uji-F (*Alf-test*), F

Deret berkala disebut stasioner apabila nilai dari parameter statistiknya (rata-rata dan varian) relatif tidak berubah dari setiap bagian ke bagian yang lain dalam rangkaian data runtut waktu tersebut, sedangkan apabila salah satu parameter statistiknya berubah untuk setiap bagian rangkaian data tersebut, maka deret berkala itu disebut tidak stasioner. Deret berkala tidak stasioner menunjukkan bahwa datanya tidak homogen/tidak sama jenis (Soewarno, 1995, p.84).

Dalam studi ini, uji statistik yang digunakan adalah Uji T dan Uji F karena data yang digunakan tidak begitu banyak sehingga menggunakan metode tersebut.

2.3.2.1 Uji T

Uji T termasuk jenis uji untuk sampel kecil. Ukuran sampel kecil, yaitu $n < 30$. Untuk mengetahui apakah dua sampel berasal dari populasi yang sama, maka dihitung t score dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Limantara, 2009, p.27):

$$t = \frac{|\pi_1 - \pi_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1) \cdot S_1^2 + (N_2 - 1) \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1) \cdot S_1^2 + (N_2 - 1) \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dengan:

m_1 = rerata dari sampel 1

m_2 = rerata dari sampel 2

S_1 = simpangan baku dari sampel 1

S_2 = simpangan baku dari sampel 2

N_1 = ukuran dari sampel 1

N_2 = ukuran dari sampel 2

Harga t_{cr} dicari pada tabel Distribusi Student's t untuk Derajat Bebas $n = N_1 + N_2 - 2$ dan α (*Level of Significance*) misalnya 5%. Apabila $t \text{ score} < t_{cr}$, maka H_0 diterima, dan jika sebaliknya maka H_0 ditolak.

2.3.2.2 Uji F

Uji nilai F ini dibandingkan dengan nilai F kritis (F_{cr}) dari tabel F. Adapun yang diuji adalah ketidakgantungan (*independence*) atau keseragaman (*homogenitas*).

Besarnya F berupa nisbah (ratio). Karena itu ada dua parameter derajat bebas yaitu n_1 (derajat bebas pembilang) dan n_2 (derajat bebas penyebut). Nilai F_{α} dapat diperoleh dari Tabel F untuk berbagai Level of Significant (α), dengan menggunakan kedua parameter bebas n_1 dan n_2 tersebut. Nilai F yang perlu dihitung adalah sebagai berikut (Limantara, 2009, p.46):

$$F = \frac{(n-k) \cdot \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{(k-1) \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)^2} \dots\dots\dots (2-9)$$

Dengan :

\bar{X}_i = harga rerata untuk kelas i

\bar{X} = harga rerata keseluruhan

\bar{X}_{ij} = pengamatan untuk kelas i pada tahun j

n_i = banyak pengamatan kelas i

n = banyak pengamatan keseluruhan

2.3.3 Uji Inlier-Outlier Data

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada layak digunakan atau tidak. Uji yang digunakan adalah uji inlier-outlier, di mana data yang menyimpang dari dua batas ambang, yaitu ambang bawah (XL) dan ambang atas (XH) akan dihilangkan. Rumus untuk mencari kedua ambang tersebut adalah sebagai berikut (U.S. Water Resources Council, 1981, p.17):

Tabel 2.1 Nilai Kn untuk Uji Inlier-Outlier

$$X_H = Exp.\bar{X} + kn.S \dots\dots\dots (2-12)$$

$$X_L = Exp.\bar{X} - kn.S \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan:

X_H = nilai ambang atas

X_L = nilai ambang bawah

\bar{X} = nilai rata-rata

S = simpangan baku dari terhadap sampel data

Kn = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

Tabel 2.1
 Nilai K_n untuk Uji *Inlier-Outlier*

Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.468	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.681	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.717	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.618	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Sumber: Van Te Chow, 1998:404

2.4 Curah Hujan Rerata Daerah

Bila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Ada 3 (tiga) metode yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata di atas areal tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar (Soemarto,1987, p.31):

2.4.1. Cara Tinggi Rata-rata

Cara ini merupakan cara yang paling sederhana, tetapi memberikan hasil yang tidak teliti. Karena setiap stasiun dianggap memiliki bobot yang sama. Hal ini hanya dapat digunakan jika hujan yang terjadi dalam DAS bersifat homogen dan variasi tahunannya tidak terlalu besar. Cara tinggi rata-rata curah hujan diperoleh dengan cara menjumlahkan hasil penakaran hujan pada pos penakar kemudian membaginya dengan jumlah pos penakar tersebut.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n}$$

$$= \sum_1^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan :

- d = tinggi curah hujan rata-rata daerah
- $d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n$ = tinggi curah hujan pada pos 1,2,...,n
- n = banyaknya pos penakar

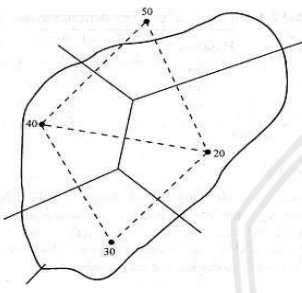


Cara ini digunakan untuk pos-pos penakar yang terbagi merata di suatu daerah dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari harga rata-rata hujan di seluruh pos penakar.

2.4.2. Cara Polygon Thiessen

Cara ini didasarkan atas rata-rata timbang. Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.

Misalnya A1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A2 luas pos penakar 2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujannya.



Gambar 2.2. Poligon Thiessen
Sumber: Triatmodjo, (2008:34)

Jika pos penakar 1 menakar hujan d_1 , pos penakar 2 menakar hujan d_2 hingga pos penakar n menakar d_n , maka:

$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + \dots + A_n \cdot d_n}{A} \dots\dots\dots (2-14)$$

$$= \sum_1^n \frac{A_i \cdot d_i}{A} \dots\dots\dots (2-15)$$

Jika $\frac{A_i}{A} = p_i$ yang merupakan prosentase luas maka $d = \sum_i^n p_i \cdot d_i$

dengan:

- A = luas areal
- d = tinggi curah hujan rata-rata areal
- d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n
- A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n

Hasil perhitungan ini lebih teliti dibandingkan dengan perhitungan dengan cara rata-rata hitung. Dan cara tersebut di atas dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi daerah yang mewakili. Akan tetapi cara ini dipandang belum memuaskan karena pengaruh topografi tidak nampak.

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Stasiun-stasiun hujan terdekat dihubungkan sehingga satu sama lain terbentuk beberapa segitiga.
2. Dari setiap segitiga ditarik sumbu yang tepat di tengah sisinya dan memotong tegak lurus.
3. Daerah pengaruh hujan masing-masing stasiun hujan dibatasi sumbu segitiga yang membentuk segi banyak. Segi banyak ini disebut *Polygon Thiessen*.
4. Tiap-tiap banyak thiessen tersebut dihitung luasnya sehingga terdapat luas daerah pengaruh tiap-tiap stasiun.
5. Prosentase luas pengaruh tiap stasiun total didapat dari luas daerah stasiun tersebut dibagi luas total DAS.
6. Curah hujan maksimum daerah tahunan tiap stasiun didapat dari hasil perkalian prosentase luas daerah dengan curah hujan.

Untuk mendapatkan curah hujan harian maksimum daerah pada suatu daerah aliran adalah sebagai berikut:

- a. Menjumlahkan curah hujan yang didapat dari metode *Polygon Thiessen* pada hari yang sama untuk semua stasiun pengamatan.
- b. Dari hasil penjumlahan curah hujan maksimum daerah tahunan tersebut pilih yang tertinggi untuk setiap tahunnya. Curah hujan ini merupakan curah hujan maksimum tahunan untuk 10 tahun.

2.4.3. Metode Isohyet

Dalam hal ini kita harus menggambar dulu kontur dengan tinggi hujan yang sama (isohyet). Kemudian luas bagian di antara isohyets-isohyet yang berdekatan diukur, dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata timbang dari kontur, seperti berikut ini (Soemarto, 1987, p.33).

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\frac{d_o \cdot d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 \cdot d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\
 &= \frac{\sum_1^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{\sum_i^n A_i} \\
 &= \frac{\sum_1^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} A_i}{A} \dots\dots\dots (2-16)
 \end{aligned}$$

dengan :

A = luas areal

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

$d_0, d_1, d_2, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan pada isohyets 0, 1, 2, \dots , n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan

Ini adalah cara yang paling teliti tetapi membutuhkan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet. Pada waktu menggambar garis-garis isohyets sebaiknya juga meninjau pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik).

2.5. Jaringan Stasiun Penakar Hujan

Jaringan stasiun penakar hujan mempunyai fungsi yang sangat penting, yaitu untuk mengurangi variabilitas besaran kejadian atau mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan pemahaman terhadap besaran yang terukur maupun terinterpolasi (Made, 1987 dalam Harto, 1993, p.22). Setiap stasiun hujan memiliki luasan pengaruh (*sphere of influence*) yang merupakan daerah dimana kejadian-kejadian di dalamnya menunjukkan keterikatan atau koreksi dengan salah satu kejadian yang diamati stasiun lainnya di dalam daerah tersebut.

Jaringan stasiun penakar hujan (*rainfall network*) harus mencakup kerapatan jaringan serta kemungkinan pertukaran datanya. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan penetapan jaringan stasiun primer dan sekunder.

Jaringan primer dimaksudkan untuk dipasang dalam jangka waktu lama dan diamati secara teratur di tempat yang telah dipilih secara seksama. Sedangkan jaringan sekunder dimaksudkan untuk lebih mendapatkan variasi ruang hujan. Jaringan ini dapat ditentukan pada beberapa tempat yang dipilih, selanjutnya apabila telah ditetapkan hubungannya dengan jaringan primer, stasiun ini dapat dipindah ke lokasi lain.

Dalam merencanakan jaringan stasiun penakar hujan, terdapat dua hal penting yang perlu dipertimbangkan yaitu:

1. Berapa jumlah stasiun yang diperlukan
2. Dimana stasiun-stasiun tersebut akan dipasang.

Hal ini sangat diperlukan, karena dalam jaringan stasiun penakar hujan perbedaan jumlah dan pola penyebaran stasiun yang digunakan dalam memperkirakan besar hujan yang terjadi dalam suatu DAS akan memberikan perbedaan dalam besaran hujan yang didapatkan dan mempengaruhi ketelitian hitungan hujan rata-rata DAS.

Pada umumnya dalam praktek pengembangan jaringan stasiun penakar hujan tidak dapat dilakukan sekali, akan tetapi dengan coba ulang untuk mendapatkan jumlah dan kerapatan yang sesuai dengan yang dikehendaki. Untuk merencanakan jaringan stasiun hujan dapat melalui beberapa tahap sebagai berikut (Made,1987 dalam Harto,1993, p.21):

1. *Isolated stasion phase*

Stasiun-stasiun terisolasi dipasang untuk memenuhi kebutuhan setempat. Jumlah tersebut akan bertambah dengan meningkatnya perkembangan sosio-ekonomi daerah yang bersangkutan.

2. *Network phase I*

Kerapatan stasiun sudah semakin tinggi sedemikian pengukuran yang dilakukan (meskipun tidak disengaja) telah menunjukkan keterikatan tertentu.

3. *Network phase 2 (consolidation phase)*

Tingkat keterikatan sudah sangat tinggi dan sering terdapat salah informasi yang berlebihan.

4. *Network phase 3 (reduction phase)*

Pada tahap ini mulai disadari bahwa informasi yang berlebihan hanya akan mempertinggi biaya. Untuk itu tingkat keterikatan perlu ditetapkan dengan mengurangi stasiun-stasiun yang kurang berfungsi.

Dalam proses pengembangan jaringan hendaknya tetap dipahami bahwa tingkat keterikatan antar stasiun merupakan dasar perencanaan jaringan, oleh karena itu harus memperhatikan faktor-faktor berikut ini (Harto,1993, p.22):

1. Nilai sosio ekonomi data termasuk kepentingannya untuk pembangunan.
2. Biaya pemasangan dan pengoperasian seluruh sistem.
3. Variabilitas data.
4. Keterikatan data sebagai fungsi ruang dan waktu.

Apabila dalam DAS yang ditinjau belum tersedia jaringan stasiun hujan sama sekali, maka sampai saat ini belum tersedia cara sederhana yang dapat digunakan untuk menetapkan jaringan tersebut. Untuk itu disarankan menempuh dua cara, yaitu (Harto,1993, p.22):

1. Cara pertama dengan menetapkan jaringan awal (*pilot network*) yang kemudian dievaluasi setelah jangka waktu tertentu untuk menetapkan jaringan yang sebenarnya, atau yang dibutuhkan.

2. Cara kedua yang dapat ditempuh adalah dengan memenuhi DAS yang bersangkutan dengan stasiun hujan, kemudian setelah berjalan beberapa waktu dievaluasi untuk dapat mengurangi stasiun-stasiun yang dianggap kurang bermanfaat.

Tetapi cara kedua di atas tidak dapat dianjurkan untuk digunakan, karena biaya yang dibutuhkan sangat besar. Hal ini perlu diperhatikan, karena biaya yang diperlukan bukan hanya biaya untuk membeli alat saja tetapi juga biaya yang harus disediakan selama alat tersebut dipergunakan. Oleh karena itu perencanaan jaringan perlu dilakukan dengan upaya maksimal agar diperoleh keseimbangan antara data atau informasi yang diperoleh dengan biaya pengadaan tanpa mengabaikan faktor-faktor yang berperan sangat penting seperti di atas.

2.6. Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Hujan

Data hujan yang diperoleh dari stasiun penakar hujan merupakan data hujan lokal yang hanya mewakili pengukuran hujan untuk luas daerah tertentu. Sehingga untuk menentukan besarnya curah hujan suatu DAS diperlukan beberapa stasiun penakar hujan yang tersebar di dalam DAS yang bersangkutan dengan kerapatan dan pola penyebaran yang memadai.

Dalam pemilihan jumlah lokasi stasiun penakar hujan pada suatu DAS untuk kepentingan analisis hidrologi yang dapat memberikan hasil dengan ketelitian semaksimal mungkin sesuai dengan yang dikehendaki, terdapat dua pendapat yang berbeda, yaitu (Harto, 1986, p.12):

Penempatan stasiun hujan yang terbagi merata dengan pola tertentu akan menghasilkan perkiraan hujan yang lebih baik dibandingkan dengan penempatan stasiun hujan secara rambang.

Stasiun hujan dapat ditempatkan sedemikian rupa, sehingga di bagian daerah dengan variasi hujan tinggi mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lain yang variasi hujannya rendah.

Penelitian yang berkaitan dengan penentuan jumlah dan pola penyebaran stasiun hujan yang memadai untuk analisis hidrologi pada suatu DAS telah banyak dilakukan dengan berbagai cara. Tetapi semuanya perlu mendapatkan pengujian lebih lanjut untuk digunakan dan diterapkan di Indonesia terutama di pulau Jawa. Karena masing-masing cara membutuhkan tuntutan kuantitas dan kualitas data yang berbeda dan harus disesuaikan dengan daerah dimana penelitian tersebut dilakukan.

Tabel 2.2

Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan Seluruh Provinsi di Indonesia

No	Provinsi	Jumlah Stasiun Ideal (WMO)		Jumlah Stasiun Faktual		Kerapatan km ² /sta
		Manual	Otomatis	Manual	Otomatis	
1	Aceh	317	32	53	32	651.67
2	Sumatera Utara	405	41	99	39	478.36
3	Sumatera Barat	284	28	63	24	572.17
4	Riau	540	54	81	24	900.59
5	Bengkulu	121	12	24	18	504
6	Jambi	257	26	7	13	2246.2
7	Sumatera Selatan	593	60	92	28	864.07
8	Lampung	193	20	63	25	378.49
9	Jawa Barat	268	27	490	89	80.98
10	Jawa Tengah	213	21	811	109	40.62
11	Jawa Timur	274	27	802	61	55.6
12	Kalimantan Barat	839	94	41	17	2530.34
13	Kalimantan Tengah	872	87	25	21	3317.39
14	Kalimantan Selatan	22	2	26	16	896.67
15	Kalimantan Timur	1157	116	34	28	3268.16
16	Sulawesi Utara	109	11	16	23	488.02
17	Sulawesi Tengah	398	40	28	24	1340.88
18	Sulawesi Tenggara	158	16	28	12	692.15
19	Sulawesi Selatan	416	42	28	27	1323.29
20	Bali	32	3	64	17	68.65
21	NTB	115	12	63	22	237.38
22	NTT	274	27	51	23	646.97
23	Maluku	426	43	34	19	1379.7
24	Irian Jaya	2411	24	4	-	10549.5
25	Timor Timur	85	9	7	4	1352,18

Sumber : Harto, 1993:37

2.6.1. Cara WMO (*World Meteorological Organization*)

Pada umumnya daerah hujan yang terjadi lebih luas dibandingkan dengan daerah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau sebaliknya, maka dengan memperhatikan pertimbangan ekonomi, topografi dan lain-lain harus ditempatkan stasiun hujan dengan kerapatan optimal yang bisa memberikan data yang baik untuk analisis selanjutnya.

Untuk tujuan ini, Badan Meteorologi Dunia atau WMO (World Meteorological Organization) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan sebagai berikut (Linsley,1986,p.67):

1. Untuk daerah datar beriklim sedang, mediteran dan daerah tropis 600 – 900 km²/stasiun.
2. Untuk daerah pegunungan beriklim sedang, mediteran dan daerah tropis 100 – 250 km²/stasiun.
3. Untuk pulau-pulau dengan pegunungan kecil dengan hujan beraturan 25 km²/stasiun.
4. Untuk daerah kering dan kutub 1500 – 10000 km²/stasiun.

2.6.2. Cara Kagan-Rodda

Penetapan jaringan stasiun hujan tidak hanya terbatas pada penentuan jumlah stasiun yang dibutuhkan dalam suatu DAS, namun juga tempat dan pola penyebarannya. Dari beberapa cara yang disebutkan di atas, belum dibahas tentang penyebaran stasiun hujan di dalam DAS yang bersangkutan. Dalam hal ini tidak ada petunjuk sama sekali. Petunjuk yang bersifat kualitatif diberikan oleh Rodda (1970), yaitu dengan memanfaatkan koefisien korelasi hujan (Harto,1993,p.29). Hal ini masih harus dikaitkan dengan keadaan sekitarnya yang menyangkut masalah ketersediaan tenaga pengamat dan pola penyebarannya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kagan (1972), untuk daerah tropis yang hujannya bersifat setempat dengan luas penyebaran yang sangat terbatas mempunyai variasi ruang untuk hujan dengan periode tertentu adalah sangat tidak menentu meskipun sebenarnya menunjukkan suatu hubungan sampai tingkat tertentu (Harto,1989,p.22).

Meskipun belum dilakukan pengujian secara khusus, namun cara Kagan – Rodda telah banyak digunakan untuk menetapkan jaringan stasiun hujan pada beberapa DAS di pulau Jawa.

Pemilihan cara ini didasarkan pada sifat cara Kagan – Rodda sebagai berikut:

1. Sederhana dalam prosedur dan perhitungan.
2. Kebutuhan data yang dapat disediakan dengan keadaan jaringan stasiun hujan yang telah ada dapat dipenuhi.
3. Dapat memberikan petunjuk dan gambaran tentang pola penyebaran stasiun hujan, untuk tingkat kesalahan tertentu.

Pada dasarnya cara ini mempergunakan analisis statistik yang mengaitkan kerapatan jaringan stasiun hujan dengan kesalahan interpolasi dan kesalahan perataan (*Interpolation error and averaging error*). Persamaan-persamaan yang dipergunakan untuk analisis jaringan Kagan-Rodda adalah sebagai berikut (Harto,1993,p.31):

$$r_{(d)} = r_{(0)} \cdot e^{\left(\frac{-d}{d_0}\right)} \dots\dots\dots (2-16)$$

$$Z_1 = Cv \cdot \sqrt{\frac{1 - r_{(0)} + \left(\frac{0.23\sqrt{A}}{d(0)\sqrt{n}}\right)}{n}} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$Z_2 = Cv \cdot \sqrt{\frac{1}{3} (1 - r_{(0)}) + \frac{0.52r_{(0)}\sqrt{\frac{A}{n}}}{d(0)}} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$L = 1,07 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}} \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan:

- r(d) = koefisien korelasi untuk jarak stasiun sejauh d
- r(0) = koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat pendek
- d = jarak antar stasiun (km)
- d(o) = radius korelasi Cv = koefisien variasi A = luas DAS (km)
- n = jumlah stasiun
- Z1, Z2 = kesalahan perataan (%) dan kesalahan interpolasi (%)
- L = jarak antar stasiun (km)

2.7. Analisis Jaringan Kagan-Rodda

2.7.1. Koefisien Variasi

Koefisien variasi merupakan variasi relatif dari suatu variabel terhadap nilai rata-rata aljabarnya, yang dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut (Garg, 1979, p.53):

1. Hitung nilai rata-rata hujan daerah dengan cara aljabar

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2-20)$$

2. Hitung standar deviasi



$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2-21)$$

3. Hitung koefisien variasi

$$Cv = \left(\frac{S}{X} \right) \dots\dots\dots (2-22)$$

dengan :

Cv = koefisien variasi

S = standar deviasi

X = nilai rata-rata

Koefisien variasi yang dihitung berdasarkan hujan bulanan biasanya rendah (<0.6) tetapi untuk hujan harian pada umumnya sangat tinggi (>0.6), hal ini mudah dipahami karena sifat hujan di daerah tropik seperti Indonesia yang sangat bervariasi dan tidak merata (Harto,1993,p.34). Dasar analisis yang digunakan dalam jaringan Kagan – Rodda adalah sifat hujan yang merata dengan variasi yang rendah (0.3 – 0.6).

2.7.2. Koefisien Korelasi

Cara Kagan-Rodda menggunakan hubungan antara kerapatan jaringan (jarak antar stasiun) dengan sifat statistik hujan pada masing-masing stasiun. Secara umum dapat ditentukan hubungan antara jarak antar stasiun dengan korelasi hujan dari masing-masing stasiun hujan. Dengan demikian apabila korelasi yang diperlukan dapat ditetapkan, maka jarak antar stasiun yang dibutuhkan dalam suatu jaringan dapat pula ditentukan.

Ukuran yang digunakan untuk menyatakan berapa kuat hubungan antara dua variabel (terutama data kuantitatif) dinamakan koefisien korelasi (r), yang dapat pula dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots (2-23)$$

dengan:

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

X_I = data hujan pada stasiun X

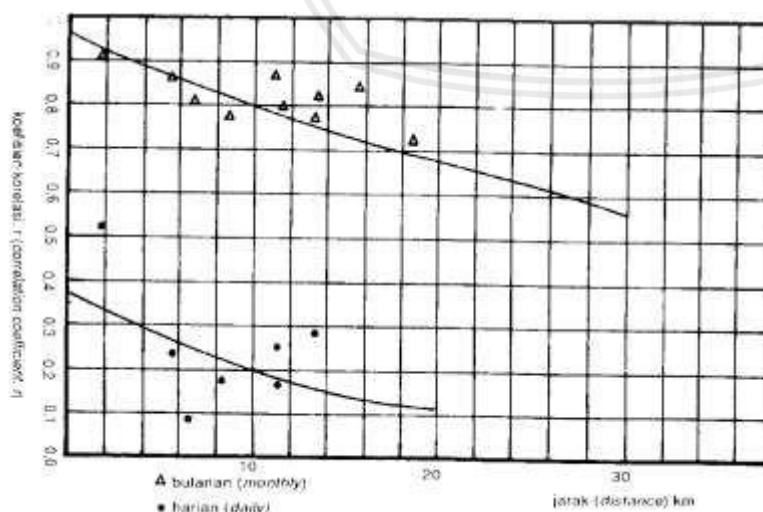
Y_I = data hujan pada stasiun Y

Pada umumnya nilai r bervariasi dari -1 melalui 0 hingga $+1$. Bila $r = 0$ atau mendekati 0 , maka hubungan antara kedua variabel sangat lemah atau tidak ada hubungan sama sekali. Bila $r = +1$ atau mendekati $+1$, maka korelasi antara kedua variabel dikatakan positif dan sangat kuat. Bila $r = -1$ atau mendekati -1 , maka korelasi antara kedua variabel dikatakan kuat dan negatif.

Tanda positif (+) dan negatif (-) pada koefisien korelasi sebenarnya memiliki arti yang khas. Bila $r (+)$, maka korelasi antara kedua variabel bersifat searah. Dengan kata lain kenaikan/penurunan nilai salah satu variabel (X) terjadi bersamaan dengan kenaikan/penurunan nilai variabel yang lain (Y). Bila $r (-)$, maka kenaikan nilai salah satu variabel (X) terjadi dengan penurunan nilai variabel yang lain (Y) dan sebaliknya.

Koefisien korelasi untuk hujan harian pada umumnya sangat rendah $0.0-0.4$, sedangkan koefisien korelasi untuk hujan bulanan berkisar antara $0.5-0.96$ (Harto,1993:35). Untuk nilai koefisien korelasi yang rendah, berarti menunjukkan bahwa antara hujan di satu stasiun tidak ada hubungannya dengan hujan di stasiun yang lain. Sebaliknya untuk nilai koefisien korelasi yang tinggi, berarti hujan di satu stasiun memiliki korelasi atau hubungan dengan hujan di stasiun yang lain dan membentuk suatu fungsi baik itu dalam bentuk persamaan matematis ataupun persamaan garis. Dalam analisis jaringan Kagan-Rodda dibutuhkan data hujan yang memiliki korelasi diantara satu stasiun yang lain ($r > 0.6$).

Dari hubungan antara jarak antar stasiun dan koefisien korelasi (r), dapat digambarkan grafik lengkung eksponensial, seperti yang nampak pada gambar 2.3 sebagai berikut:



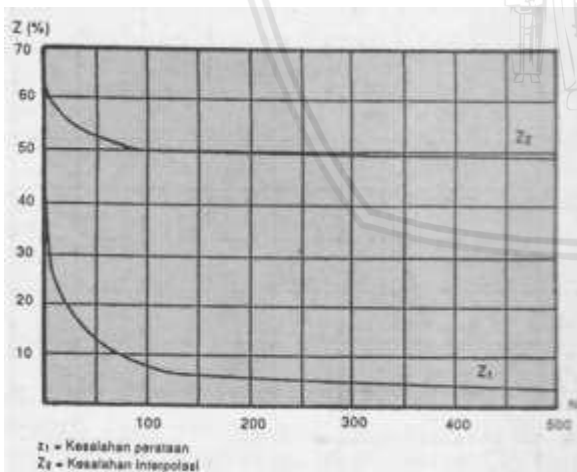
Gambar 2.3 Korelasi antar stasiun hujan pada Suatu DAS

Sumber: Sri Harto, 1993:33

2.7.3. Perencanaan Jaringan Kagan-Rodda

Secara garis besar langkah-langkah perhitungan yang akan dilakukan dalam perencanaan jaringan Kagan-Rodda adalah sebagai berikut (Harto, 1993, p.32):

1. Dari jaringan stasiun hujan yang tersedia, dapat dihitung nilai koefisien variasi (C_v) berdasarkan persamaan (2-22) baik untuk hujan harian maupun hujan bulanan, sesuai dengan yang diperlukan.
2. Dari jaringan stasiun hujan yang telah tersedia pula dapat dicari hubungannya antara jarak antar stasiun dan koefisien korelasi, baik untuk hujan harian maupun bulanan, sesuai dengan keperluan. Dalam penetapan hubungan ini tidak perlu diperhatikan orientasi arahnya, karena tidak berpengaruh terhadap besarnya korelasi. Sedangkan korelasi dilakukan untuk hari-hari di kedua stasiun terjadi hujan, untuk menghindari terjadinya *Complete Dry Days* (Stohl, 1981 dalam Harto:1993).
3. Hubungan yang diperoleh di atas digambarkan dalam sebuah grafik lengkung eksponensial, sehingga dari grafik ini diperoleh besaran $d(o)$ dengan menggunakan nilai rerata d dan $r(d)$ dan persamaan (2-16).
4. Dengan besaran tersebut, maka persamaan (2-17) dan (2-18) dapat dihitung setelah tingkat ketelitian ditetapkan ataupun sebaliknya, dapat dicari grafik hubungan antara jumlah stasiun hujan dengan ketelitian yang diperoleh, baik untuk hujan bulanan maupun hujan harian.

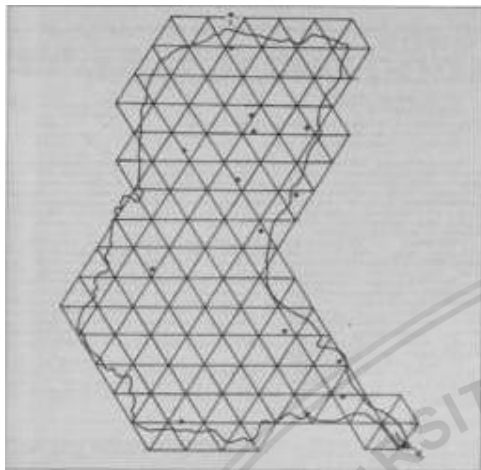


Gambar 2.4 Hubungan antara jumlah stasiun dan besar kesalahan rata-rata

Sumber: Sri Harto, 1993:34

5. Setelah jumlah stasiun hujan pada DAS yang ditinjau ditetapkan menggunakan persamaan (2-27), maka penempatan stasiun hujan dilakukan dengan menggambarkan jaring-jaring segitiga sama sisi dengan panjang sisi L .

6. Gambar jaringan Kagan-Rodda dibuat di atas kertas transparan, yang selanjutnya ditumpangkan di atas peta daerah aliran sungai yang ditinjau dan dilakukan penggeseran-penggeseran sedemikian rupa, sehingga jumlah simpul segitiga yang berada di dalam DAS sama dengan jumlah stasiun hujan yang dihitung. Simpul-simpul tersebut merupakan lokasi stasiun hujan.



Gambar 2.5 Contoh Jaringan Kagan-Rodda

Sumber: Sri Harto, 1993, p.35

Cara Kagan-Rodda ini dapat dipergunakan untuk dua keadaan yaitu:

1. Apabila di dalam DAS sama sekali belum ada stasiun hujan, maka cara yang dapat ditempuh adalah dengan mencoba memanfaatkan data hujan di daerah sekitarnya untuk dapat mengetahui tingkat variabilitasnya (nilai koefisien variasi) dan setelah beberapa tahun pengoperasian, maka jaringan tersebut perlu diuji kembali untuk meningkatkan kualitasnya.
2. Apabila di dalam DAS telah tersedia jaringan stasiun hujan, maka cara ini dapat dipergunakan untuk mengevaluasi apakah jaringan yang telah ada telah mencakupi (untuk tingkat ketelitian yang dikehendaki), atau dapat pula digunakan untuk memilih stasiun-stasiun yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya. Dalam kaitan ini jaringan yang ada dibandingkan dengan jaringan yang telah diperoleh dengan cara Kagan-Rodda. Apabila jumlah stasiun yang telah ada masih lebih kecil dibandingkan dengan jumlah stasiun yang dituntut dengan cara Kagan-Rodda dapat dipergunakan dengan menambahkan stasiun-stasiun yang lain. Akan tetapi apabila jumlah stasiun yang telah ada lebih besar dibandingkan dengan jumlah stasiun yang dituntut berdasarkan cara Kagan-Rodda, maka stasiun-stasiun tertentu dapat tidak dipergunakan untuk analisis selanjutnya.

2.8 Perbedaan Studi yang Dilakukan dengan Studi Terdahulu

Tabel 2.3

Perbedaan Studi dengan Studi Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Perbedaan		
			Metode yang digunakan Peneliti Terdahulu	Lokasi Penelitian Terdahulu	Penelitian Saya
1	Shabrina Arifah, Ery Suhartanto, Dian Chandrasasi	Rasionalisasi Jaringan Pos Stasiun Hujan Pada Das Kemuning Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Kagan-Rodda Dan Kriging Dengan Mempertimbangkan Aspek Topografi	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Metode Kagan-Rodda 	Lokasi Penelitian dilakukan di Das Kemuning Kabupaten Sampang	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi Studi yang diambil berada di Sub DAS Lahor, Kabupaten Malang, Jawa Timur
2	Yuvika Rega Siswanti, Very Dermawan, Ery Suhartanto	Rasionalisasi Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Metode Kagan – Rodda Dengan Memperhitungkan Faktor Topografi pada Daerah Aliran Sungai (DAS)	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Metode Kagan-Rodda 	Lokasi Penelitian dilakukan di Sampean, Madura	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi Studi yang diambil berada di Sub DAS Lahor, Kabupaten Malang, Jawa Timur
3	Tri Kurniawati, Ery Suhartanto, Donny	Evaluasi dan Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Pos	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Metode <i>Stepwise</i> 	Lokasi Penelitian dilakukan adalah di sub DAS Lahor,	<ul style="list-style-type: none"> Metode yang akan` digunakan adalah Kagan-

Tabel 2.3

Lanjutan Tabel 2.3

No	Peneliti	Judul	Perbedaan		
			Metode yang digunakan Peneliti Terdahulu	Lokasi Penelitian Terdahulu	Penelitian Saya
	Harisuseno	Hujan dan Pos Duga Air dengan Metode <i>Stepwise</i> di Sub DAS Lahor		Kabupaten Malang, Jawa Timur	Rodda
4	Yunaeni Suhartini, Rispiningtati, Lily Montarcih	Studi Alternatif Penerapan Cara Kagan - Rodda Pada Evaluasi Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan di Sub DAS Widas	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Metode Kagan-Rodda 	Lokasi Penelitian dilakukan di Sub DAS Widas	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi Studi yang diambil berada di Sub DAS Lahor, Kabupaten Malang, Jawa Timur
5	Henny Lukitosari, Lily Montarcih, Tri Budi Prayogo	Kajian Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan Terhadap Bentuk DAS Berdasarkan Metode Kagan - Rodda di DAS Ringotok dan DAS Serinjing	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Metode Kagan-Rodda 	Lokasi Penelitian dilakukan DAS Ringotok dan DAS Serinjing Jawa Timur	<ul style="list-style-type: none"> Lokasi Studi yang diambil berada di Sub DAS Lahor, Kabupaten Malang, Jawa Timur

Halaman ini sengaja dikosongkan

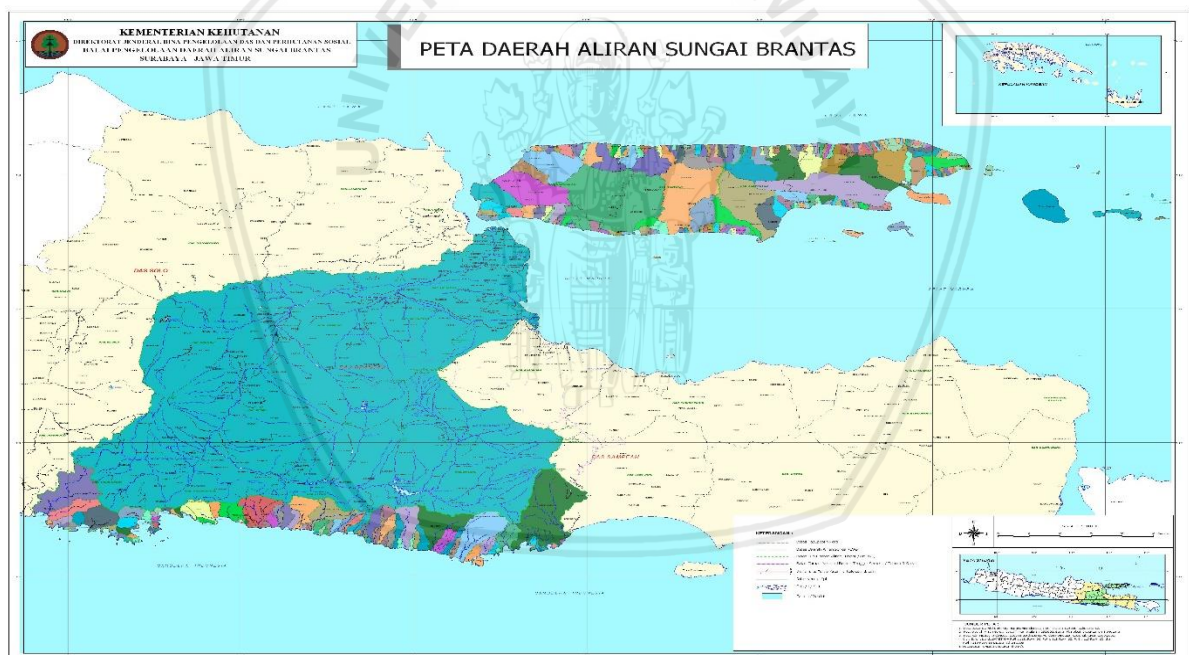


BAB III

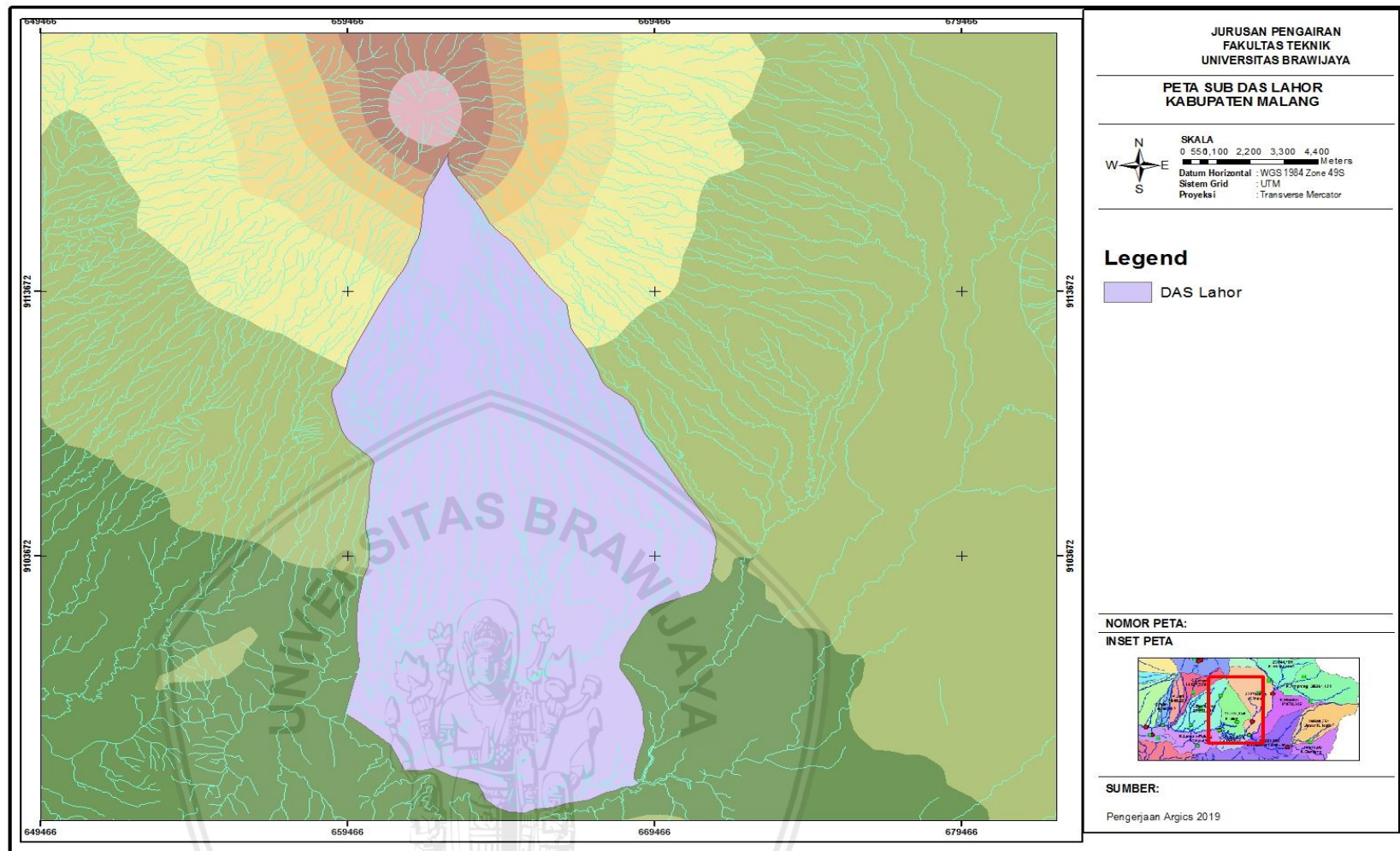
METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Daerah Studi

Sub DAS Lahor terletak di Kecamatan Sumberpucung Kabupaten Malang, Jawa Timur. Sub DAS Lahor merupakan bagian dari Das Brantas yang bermata air dari lereng Gunung Semeru dan bermuara ke waduk Lahor. Sub DAS Lahor terdapat waduk Lahor sebagai Proyek Karangates Tahap II terletak ± 32 km di sebelah selatan Kota Malang ke arah Kota Blitar, dibangun dengan tujuan sebagai pencegah banjir, pembangkit tenaga listrik, pensuplai air bagi kebutuhan irigasi pertanian, kegiatan perikanan darat, dan untuk kegiatan pariwisata. Luas dari Sub DAS lahor adalah 186,111 km².



Gambar 3.1 Daerah Lokasi Studi
Sumber : <https://sipdas.menlhk.go.id/>



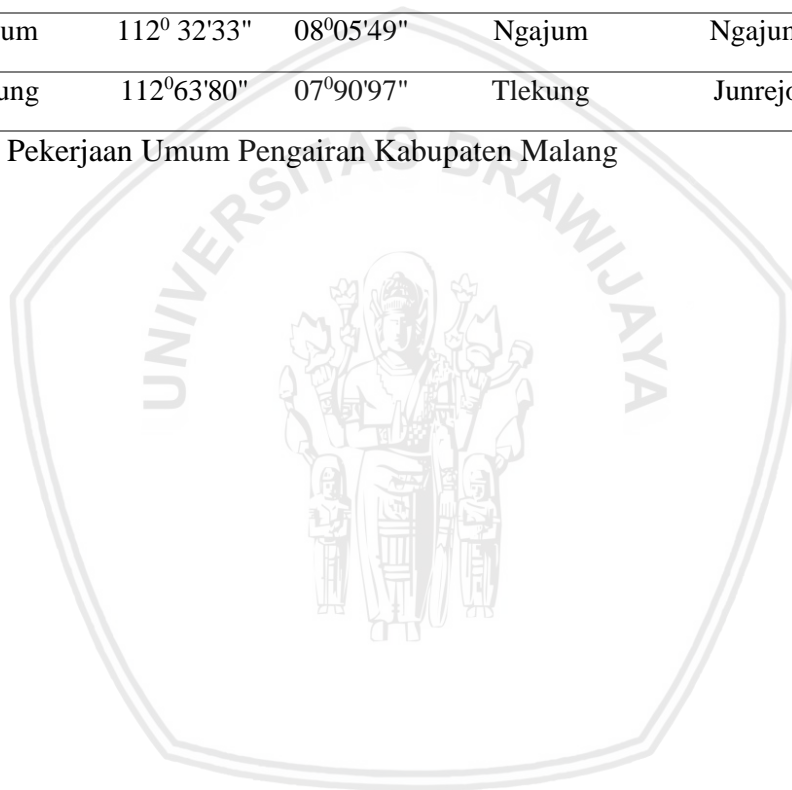
Gambar 3.2 Peta Sub DAS Lahor
Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Malang

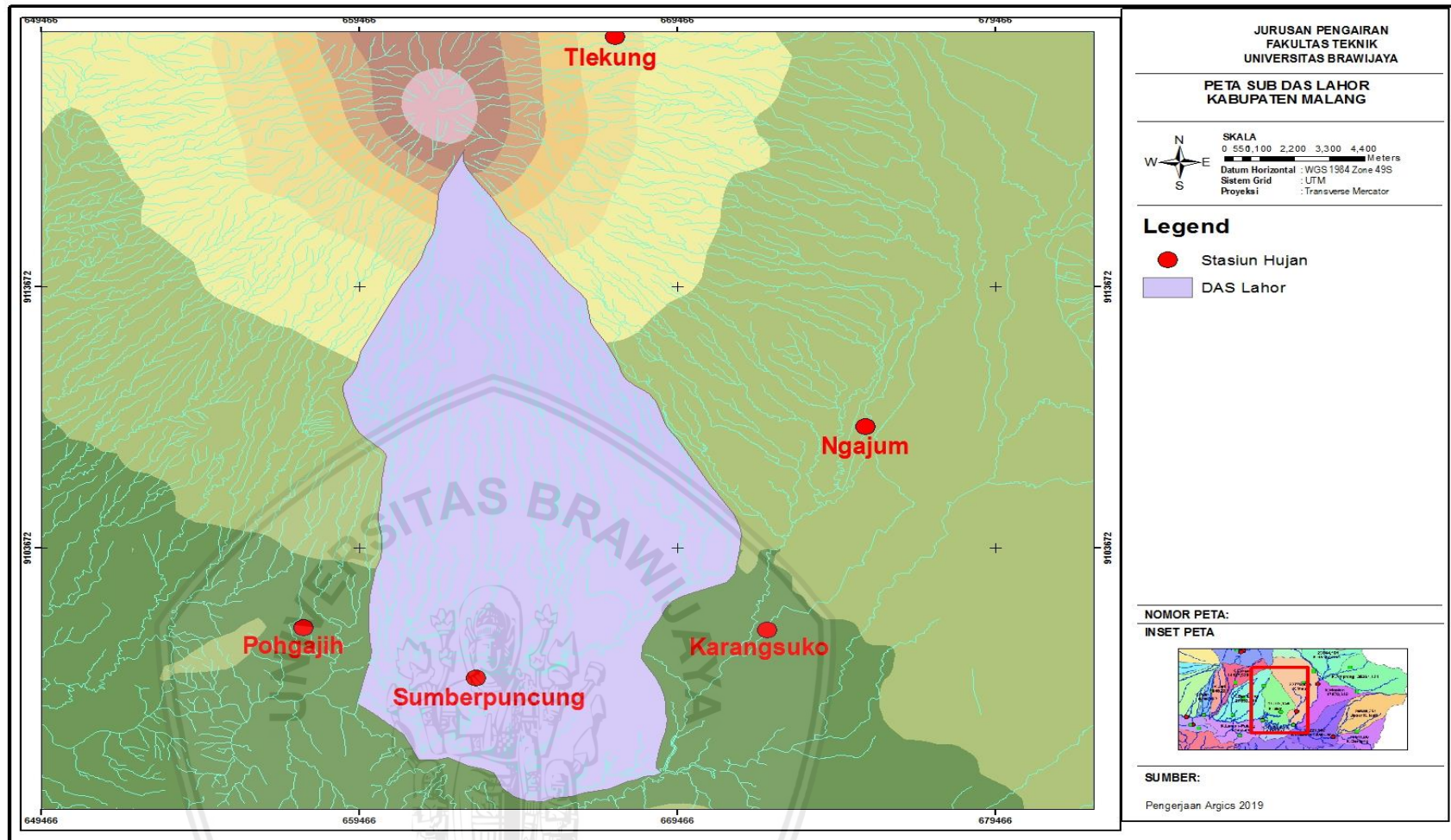
Sub DAS Lahor terdiri atas 5 stasiun hujan yang tersebar di beberapa kecamatan di Sub DAS Lahor yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.1
Stasiun Hujan pada Sub DAS Lahor

No.	Stasiun Hujan	Letak			Lokasi	
		Bujur	Lintang	Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	Pohgajih	112 ⁰ 25'53"	08 ⁰ 09'178"	Pohgajih	Selorejo	Malang
2	Sumberpuncung	112 ⁰ 48'34"	07 ⁰ 15'37"	Pohgajih	Solorejo	Malang
3	Karangsuko	112 ⁰ 35'27"	08 ⁰ 09'18"	Karigoro	Pagelaran	Malang
4	Ngajum	112 ⁰ 32'33"	08 ⁰ 05'49"	Ngajum	Ngajum	Malang
5	Tlekung	112 ⁰ 63'80"	07 ⁰ 90'97"	Tlekung	Junrejo	Malang

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Malang





Gambar 3.3 Peta Stasiun Hujan Sub Das Lahor
Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Malang

3.2 Data-Data yang Diperlukan

Data-data yang diperlukan pada studi ini adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian selama 10 tahun di sekitaran Sub DAS Lahor
2. Peta Sub DAS Lahor
3. Data tata letak lokasi dan koordinat stasiun hujan pada Sub DAS Lahor

3.3 Prosedur Pengolahan Data

3.3.1 Analisa Hidrologi

1. Penyiapan Data.

Data yang digunakan adalah peta Sub DAS Lahor, lokasi dan koordinat stasiun hujan yang ada di Sub DAS Lahor serta data curah hujan selama 10 tahun pada Sub DAS Lahor.

2. Uji Konsisten Data

Pemeriksaan konsistensi data perlu dilakukan karena perubahan lokasi stasiun hujan atau perubahan prosedur pengukuran dapat memberikan pengaruh yang cukup besar pada jumlah hujan yang terukur sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan. Uji konsistensi data dilakukan dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*).

3. Uji Ketidakadaan *Trend*

Uji ketidakadaan trend dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya trend atau variasi dalam data. Apabila ada trend maka data tidak disarankan dalam analisis hidrologi. Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sama jenis.

4. Uji *Inlier-Outlier*

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian

data yang ada layak digunakan atau tidak. Uji yang digunakan adalah uji *inlier-outlier*, di mana data yang menyimpang dari dua batas ambang, yaitu ambang bawah (X_L) dan ambang atas (X_H) akan dihilangkan.

3.3.2 Analisa Kagan-Rodda

Tahapan analisa hujan dengan metode Kagan-Rodda adalah sebagai berikut:

1. Analisa Kerapatan Stasiun Hujan Metode Kagan-Rodda

Dalam analisa kerapatan ini, pedoman yang digunakan adalah standar WMO.

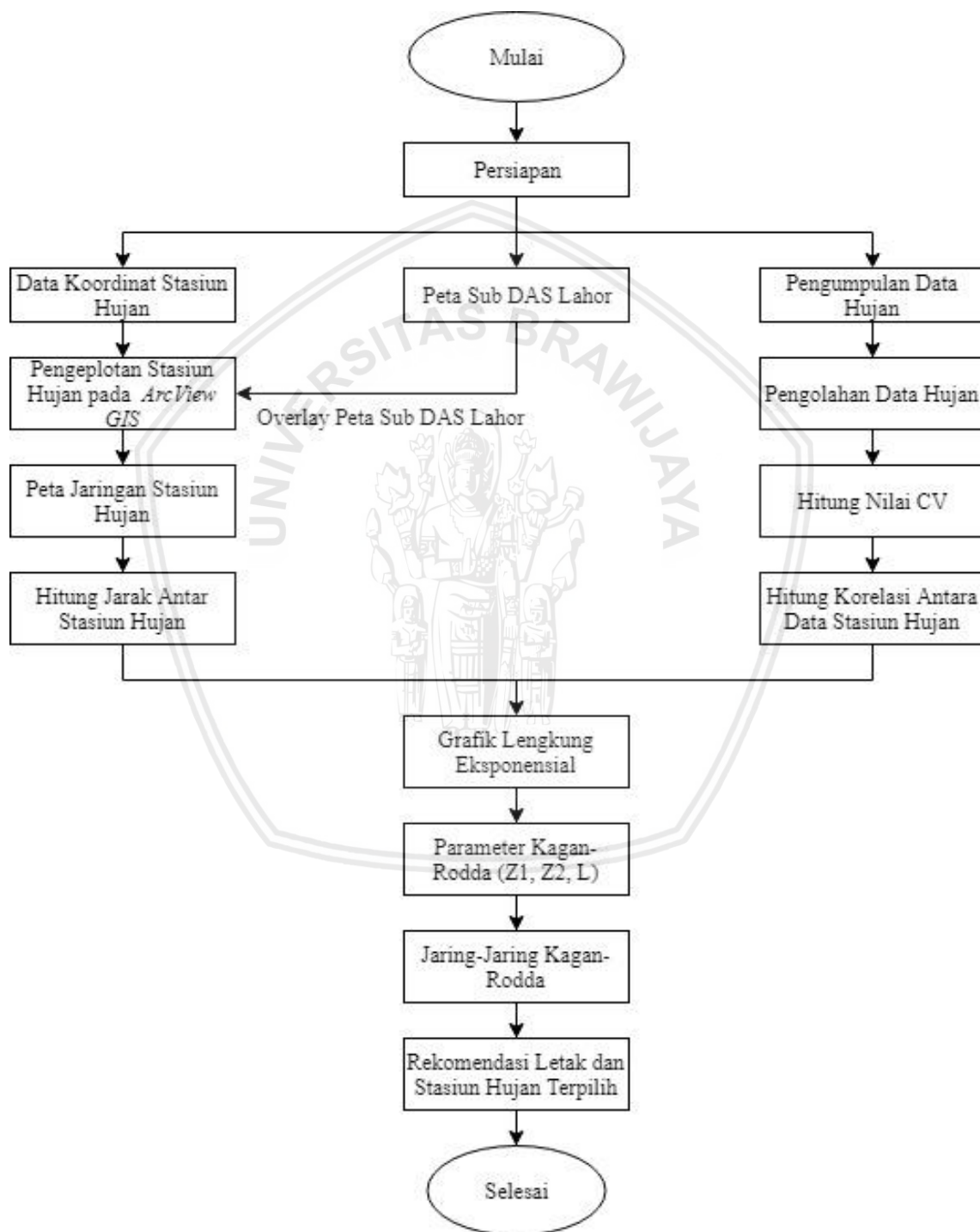
2. Pembuatan Jaringan Stasiun Sesuai Hasil Metode Kagan Rodda

Adapun tahap-tahap dalam perhitungan metode Kagan-Rodda adalah sedbagai berikut:

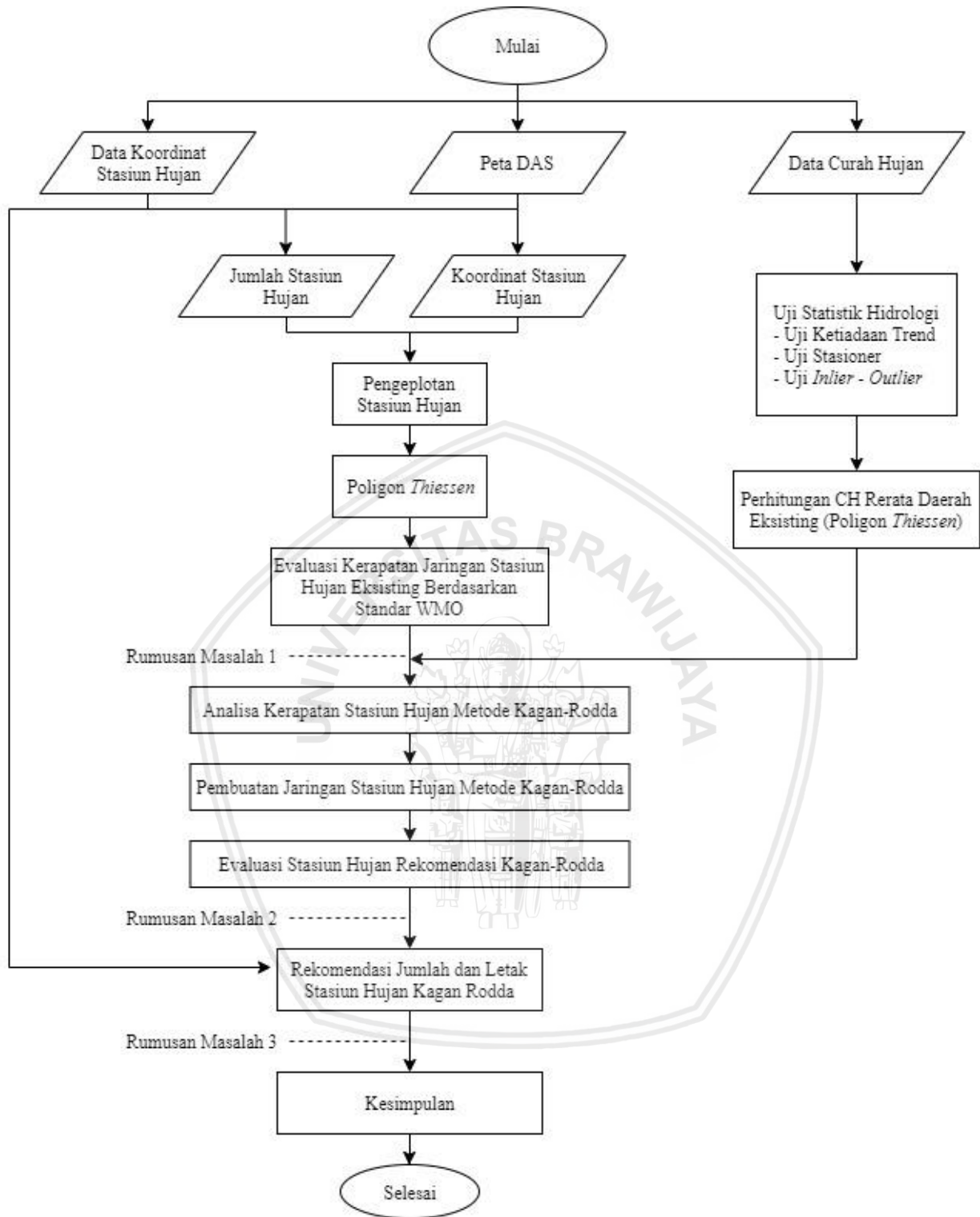
3. Melalui koefisien variasi curah hujan rerata maksimum harian, dilakukan perhitungan jarak dan korelasi antar stasiun hujan. Ketika jarak dan korelasi antar stasiun hujan menghasilkan nilai negatif (-), maka perhitungan diganti dengan koefisien variasi curah hujan rerata maksimum tahunan.
4. Perhitungan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi yang selanjutnya digambarkan dalam grafik hubungan jumlah stasiun hujan dengan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi.
5. Perletakan stasiun hujan berdasarkan metode Kagan-Rodda. Dilakukan dengan menghitung panjang sisi segitiga Kagan-Rodda untuk jumlah stasiun hujan yang telah direncanakan. Gambar jaringan diplotkan di atas peta DAS. Gambar jaringan digeser sedemikian rupa sehingga jumlah simpul yang ada di dalam DAS sama dengan jumlah stasiun hitung, dimana simpul-simpul tersebut merupakan lokasi dari stasiun hujan.
6. Evaluasi jaringan stasiun hujan. Dari *plotting* stasiun hujan akan didapat letak stasiun yang selanjutnya digunakan untuk penentuan stasiun-stasiun yang terdekat dengan stasiun Kagan-Rodda dan perhitungan koefisien korelasi ($r_{(d)}$) dengan persamaan regresi dari hasil perhitungan yang dipilih nantinya adalah stasiun yang mempunyai koefisien korelasi yang mendekati koefisien korelasi untuk jarak stasiun yang sangat dekat ($r_{(0)}$).
7. Kesalahan Relatif
Membandingkan antara curah hujan rerata harian maksimum eksisting dengan curah hujan rerata harian maksimum hasil metode Kagan-Rodda dengan kesalahan relatif kurang dari 5%.

3.3 Diagram Alir Penyelesaian

Tujuan dari studi adalah untuk mengetahui kondisi serta mengevaluasi kerapatan jaringan stasiun hujan pada Sub Das Lahor dengan menggunakan metode Kagan-Rodda. Agar tercapai tujuan tersebut maka diagram alir penyelesaian studi ini di gambarkan pada gambar berikut :



Gambar 3.4 Diagram Alir Penyelesaian Studi



Gambar 3.5 Diagram Alir Penyelesaian Kagan-Rodda



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyiapan Data

Data hujan yang digunakan dalam studi ini adalah data hujan yang berasal dari 5 stasiun hujan di DAS Lahor di Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur adapun stasiun hujan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1

Stasiun Hujan pada Sub DAS Lahor

No.	Stasiun Hujan	Letak			Lokasi	
		Bujur	Lintang	Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	Pohgajih	112° 25'53"	08°09'178"	Pohgajih	Selorejo	Malang
2	Sumberpuncung	112°048'34"	07°15'37"	Pohgajih	Solorejo	Malang
3	Karangsuko	112°35'27"	08°09'18"	Karigoro	Pagelaran	Malang
4	Ngajum	112° 32'33"	08°05'49"	Ngajum	Ngajum	Malang
5	Tlekung	112°63'80"	07°90'97"	Tlekung	Junrejo	Malang

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Malang

4.2 Pengolahan Data Hujan

4.2.1 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi bertujuan untuk mengetahui adanya penyimpangan hubungan tiap pos stasiun hujan dengan pos stasiun hujan lainnya yang berada di sekitar pos tersebut. Dalam melakukan uji konsistensi pada data hidrologi, umumnya digunakan beberapa metode seperti Metode Kurva Massa Ganda dan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode Kurva Massa Ganda dapat digunakan apabila terdapat minimal 3 (tiga) pos stasiun hujan, sedangkan pada uji dengan data tunggal dapat menggunakan Metode RAPS. Dalam uji ini digunakan Metode Kurva Massa Ganda untuk pengujian enam pos stasiun hujan. Satu pos yang diuji dan kemudian lima pos yang tersisa dianggap sebagai pos stasiun hujan sekitar. Data yang diuji merupakan data tahunan tiap pos stasiun hujan sebanyak 10 tahun (2008-2017). Sedangkan uji konsistensi pada data TRMM menggunakan Metode RAPS, dan data yang diuji merupakan data tahunan dengan panjang data 10 tahun (2008-2017).

4.2.1.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan Pos Stasiun Hujan

Pengujian dengan metode kurva massa ganda dikatakan konsisten apabila diperoleh nilai kemiringan sudut garis trend pada grafik sebesar $\alpha = 45^\circ$ atau kemiringan garis (slope) $47 \leq S \leq 53$. Toleransi data masih dapat dianggap konsisten pada rentangan nilai $42^\circ < \alpha < 48^\circ$, karena ketika dilakukan koreksi data hasil yang diperoleh tidak akan memberikan besaran yang signifikan.

Langkah-langkah dalam uji konsistensi metode kurva massa ganda adalah sebagai berikut (contoh perhitungan yang digunakan adalah Pos Stasiun Hujan Ngaglik):

1. Menjumlahkan data asli dalam bentuk harian menjadi data tahunan, serta mengurutkan data dari tahun terbaru ke tahun terlama (2017-2008).
2. Menentukan pos yang akan diuji dan pos sekitar yang akan digunakan sebagai pembanding.
3. Menghitung data curah hujan kumulatif pos yang akan diuji.
4. Menghitung nilai rerata pos sekitar.
5. Menghitung nilai kumulatif rerata pos sekitar.
6. Merekapitulasi hasil perhitungan

Hasil perhitungan uji konsistensi Pos Stasiun Hujan Pohgajih dapat dilihat pada Tabel 4.2,

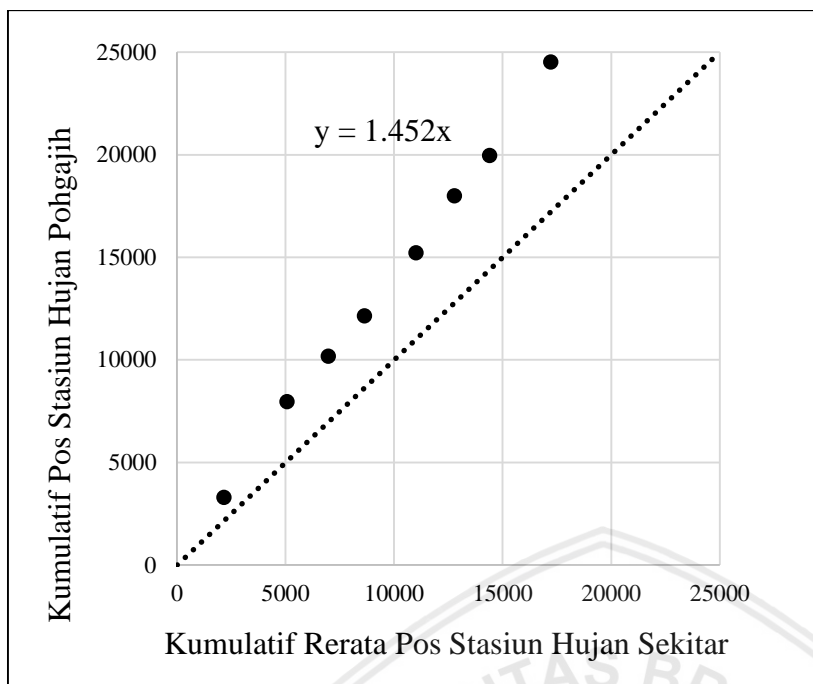
Tabel 4.2

Uji Konsistensi Kurva Massa Ganda Pos Stasiun Hujan Pohgajih Sebelum Terkoreksi

Tahun	Pohgajih (mm/t)	Pos Stasiun Hujan Sekitar				Rerata (mm/t)	Kumulatif	
		Sumber puncung (mm/t)	Karan gsuko (mm/t)	Ngajum (mm/t)	Tlekung (mm/t)		Pohgajih (mm/t)	Pos Sekitar (mm/t)
2017	3297.0	2409.0	2122.5	2449.0	1707.4	2172.0	3297.0	2172.0
2016	4659.0	3231.0	3167.9	3272.0	1898.0	2892.2	7956.0	5064.2
2015	2226.0	2044.0	1927.2	2198.0	1469.0	1909.6	10182.0	6973.8
2014	1956.0	1968.0	1184.0	2139.0	1359.0	1662.5	12138.0	8636.3
2013	3085.0	2608.0	1539.0	1539.0	2479.0	2041.3	15223.0	10677.5
2012	2767.0	1587.0	1623.0	2236.0	1627.0	1768.3	17990.0	12445.8
2011	1970.0	1345.0	1454.0	1800.0	1897.0	1624.0	19960.0	14069.8
2010	4566.0	2756.0	2586.0	3540.0	2382.0	2816.0	24526.0	16885.8
2009	1729.0	1295.0	1027.0	1682.0	1246.0	1312.5	26255.0	18198.3
2008	2903.0	1846.0	2009.0	2152.0	1492.0	1874.8	29158.0	20073.0

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

7. Membuat kurva yang menggambarkan perbandingan antara kumulatif pos stasiun hujan yang diuji dengan kumulatif rerata pos stasiun hujan sekitarnya. Ketentuan grafik adalah untuk sumbu X merupakan kumulatif rerata pos stasiun hujan sekitar dan sumbu Y merupakan kumulatif pos stasiun hujan yang diuji.



Gambar 4.1 Grafik kurva massa ganda Pos Stasiun Hujan Pohgajih
Sumber : Hasil Perhitungan 2019

8. Menghitung kemiringan garis *trend/slope* pada grafik lengkung massa ganda dan nilai derajat sudut α

Cara 1 :

$$S = \frac{y}{x} = \frac{29158,0}{20073,0}$$

$$= 1,452$$

Maka, nilai $\alpha = \arctan S$

$$\alpha = \arctan (1,452)$$

$$= 55,455$$

Cara 2 :

$$y = bx$$

b = kemiringan garis (S)

$$y = 1,444x$$

$$\alpha = \arctan (1,444)$$

$$= 55,296$$

Karna hasil α uji lengkung massa ganda stasiun hujan Pohgajih tidak memenuhi rentangan nilai $42 < \alpha < 48$, maka data stasiun hujan Pohgajih perlu dikalikan dengan factor koreksi

9. Menghitung factor koreksi

$$\alpha = \frac{(\text{Kumulatif St. Pohgajih 2017} - \text{Kumulatif St. Pohgajih 2008})}{(\text{Kumulatif rerata St. Pohgajih 2017} - \text{Kumulatif St. Pohgajih 2008})}$$

$$= \frac{(3297,0-2958,0)}{(2172,0-20073,0)}$$

$$= 1.444$$

$$\tan 45^\circ = 1$$

$$Fk = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{1.444}$$

$$= 0.6922$$

10. Menghitung curah hujan terkoreksi dengan cara mengkalikan data curah hujan stasiun Pohgajih dengan nilai Fk (factor koreksi)

$$S = \frac{y}{x} = \frac{20183,2}{20073,0}$$

$$= 1,005$$

Maka, nilai $\alpha = \arctan S$

$$\alpha = \arctan (1,005) = 45,156$$

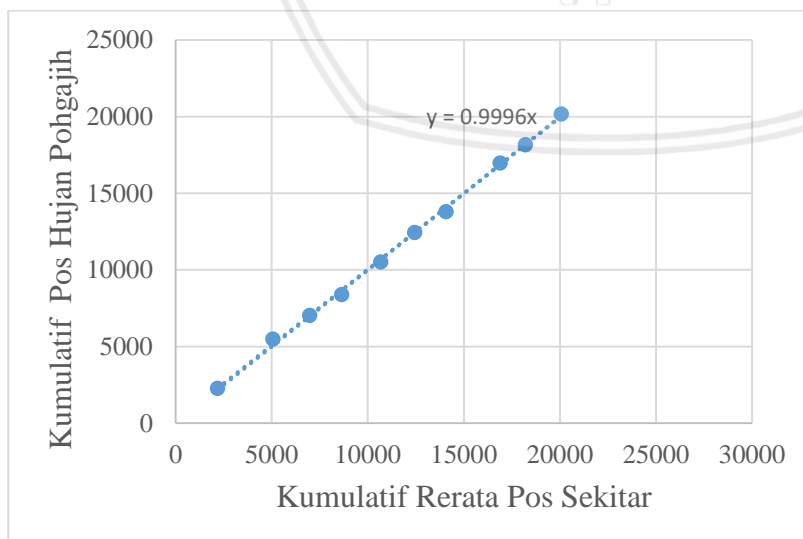
Cara 2 :

$$y = bx$$

b = kemiringan garis (S)

$$y = 0,996x$$

$$\alpha = \arctan (0,9996) = 44,970$$



Gambar 4.2 Grafik kurva massa ganda Pos Stasiun Hujan Pohgajih Sesudah Terkoreksi
Sumber : Hasil Perhitungan 2019

11. Mengrekapitulasi hasil perhitungan curah hujan terkoreksi

Tabel 4.3

Uji Konsistensi Lengkung Massa Ganda Stasiun Hujan Pohgajih Setelah Dikoreksi

Tahun	Pohgajih (mm/t)	Kumulatif Pohgajih (mm/t)	Rerata Pos Sekitar (mm/t)	Ngajum	Kumulatif Rerata (mm/t)	CH	Kumulatif
						Terkoreksi Pohgajih (mm/t)	Terkoreksi Pohgajih (mm/t)
2017	3297.0	3297.0	2172.0	2449	2172.0	2282.2	2282.2
2016	4659.0	7956.0	2892.2	3272	5064.2	3225.0	5507.2
2015	2226.0	10182.0	1909.6	2198	6973.8	1540.8	7048.0
2014	1956.0	12138.0	1662.5	2139	8636.3	1353.9	8401.9
2013	3085.0	15223.0	2041.3	1539	10677.5	2135.4	10537.4
2012	2767.0	17990.0	1768.3	2236	12445.8	1915.3	12452.7
2011	1970.0	19960.0	1624.0	1800	14069.8	1363.6	13816.3
2010	4566.0	24526.0	2816.0	3540	16885.8	3160.6	16976.9
2009	1729.0	26255.0	1312.5	1682	18198.3	1196.8	18173.8
2008	2903.0	29158.0	1874.8	2152	20073.0	2009.5	20183.2

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Tabel 4.4

Rekapitulasi Nilai α Sebelum dan Sesudah Dikoreksi

Stasiun Hujan	Nilai α Sebelum Dikoreksi		Keterangan	Nilai α Sesudah Dikoreksi		Keteranga n
	Cara 1	Cara 2		Cara 1	Cara 2	
Pohgajih	55.455	55.296	Tidak Konsisten	45.156	44.970	Konsisten
SumberPng	43.450	44.380	Konsisten	43.450	44.380	Konsisten
Karanguko	39.178	43.329	Tidak Konsisten	45.221	44.030	Konsisten
Ngajum	48.425	48.603	Tidak Konsisten	44.687	44.865	Konsisten
Tlekung	43.479	43.260	Konsisten	43.479	43.260	Konsisten

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Berdasarkan perhitungan data curah hujan setelah dikoreksi menghasilkan rentangan nilai $45^\circ < \alpha < 48^\circ$ dan nilai α yang dihasilkan mendekati 45° . Sehingga data setelah dikoreksi dianggap sudah konsisten. Untuk hasil perhitungan uji lengkung massa ganda stasiun hujan lainnya dapat dilihat pada lampiran 5.

4.2.2 Uji Ketiadaan *Trend*

Data yang baik adalah data yang homogen, artinya data berasal dari populasi yang sama jenis. Uji ketiadaan trend dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain Uji Korelasi Peringkat (KP) dengan Metode Spearman, Uji Mann dan Whitney, dan Uji tanda dengan Metode Cox dan Stuart. dalam studi ini, uji ketiadaan trend dilakukan dengan ketiga metode tersebut.

4.2.2.1 Metode Spearman

Trend dapat dipandang sebagai korelasi antara waktu dengan variant dari suatu variable hidrologi. Oleh karena itu koefisien korelasinya dapat digunakan untuk menentukan ketiadaan *trend* dari suatu deret berkala.

Langkah-langkah dalam menentukan ada atau tidaknya *trend* menggunakan metode Spearman adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai koefisiensi korelasi peringkat dari spearman (KP) dengan persamaan (2-5) dan nilai distribusi t dengan persamaan (2-6)

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{r=1}^n (dt)^2}{n^3 - n}$$

$$KP = 1 - \frac{6 \times 220}{10^3 - 10}$$

$$= -0.333$$

2. Menentukan nilai distribusi t, pada derajat kebebasan (n-2) untuk derajat kepercayaan 5%

$$t = KP \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$t = -0.333 - \left[\frac{10-2}{1-0.333^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1$$

3. Menarik kesimpulan apakah hipotesa diterima atau ditolak

Dengan melaksanakan pengujian dua sisi untuk derajat kepercayaan 5% dan derajat kebebasan $n-2 = 8$ maka diperoleh t_{tabel} 1,860 dan -1,860. Berdasarkan perhitungan maka nilai t terletak $-1,860 < 1 < 1,860$. oleh karena itu, tidak dapat menolak hipotesa nol pada derajat kepercayaan 5%, atau dapat dikatakan dua seri data (Rt dan Tt) adalah independen dan tidak mungkin menunjukkan adanya *trend*.

Tabel 4.5

Ketiadaan *Trend* Metode Spearman Stasiun Hujan Pohgajih

No	Tahun	Peringkat Tt	Curah Hujan	Peringkat Rt	dt	dt ²
1	2008	1	2903	5	4	16
2	2009	2	1729	10	8	64
3	2010	3	4566	2	-1	1
4	2011	4	1970	8	4	16
5	2012	5	2767	6	1	1
6	2013	6	3085	4	-2	4
7	2014	7	1956	9	2	4
8	2015	8	2226	7	-1	1
9	2016	9	4659	1	-8	64
10	2017	10	3297	3	-7	49
Jumlah						220

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

4.2.2.2 Metode Mann dan Whitney

Uji Mann dan Whitney digunakan untuk menguji apakah dua kelompok data yang tidak berpasangan berasal dari populasi yang sama atau tidak. Untuk menguji apakah satu set sample data deret berkala menunjukkan adanya trend atau tidak dapat digunakan prosedur yang sama, yaitu dengan uji Mann dan Whitney dengan cara membagi satu seri data deret berkala menjadi dua bagian yang jumlahnya sama.

Langkah – Langkah dalam menentukan ada atau tidaknya trend menggunakan metode Mann dan Whitney adalah sebagai berikut :

1. Membagi data menjadi dua kelompok
2. Meberikan peringkat pada dua kelompok data tersebut dari data yang terkecil sampai yang terbesar
3. Menentukan nilai R_m yaitu jumlah peringkat data tiap kelompok
4. Menghitung parameter statistik

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1}{2} x (N_1 + 1) - R_m$$

$$= (5 \times 5) + \frac{5}{2} x (5 + 1) - 24$$

$$= 16$$

$$U_2 = N_1 N_2 - U_1$$

$$= (5 \times 5) - 24$$

$$= 9$$

Karena U_2 memiliki nilai yang lebih kecil dari U_1 , maka U_1 dianggap sebagai U untuk perhitungan selanjutnya mencari nilai Z dengan persamaan

$$Z = \frac{9 - (5 - 5)}{2} \left[\frac{1}{12} \{ (N_1 \times N_2 (N_1 + N_2 + 1)) \} \right]^{1/2}$$

$$Z = \frac{9 - (5 - 5)}{2} \left[\frac{1}{12} \{ (5 \times 5 (5 + 5 + 1)) \} \right]^{1/2}$$

$$= -0.731$$

Berdasarkan uji satu sisi pada derajat kepercayaan 5% ditolak, berdasarkan table diperoleh nilai $Z_c = 1,960$ dan $-1,960$ nilai $Z = -0,731$ ternyata lebih kecil dari $Z_c = 1,960$ dan lebih besar dari $Z_c = -1,960$ dengan demikian hipotesa tidak dapat ditolak dengan derajat kepercayaan 5% atau dapat dikatakan bahwa kelompok I dan kelompok II berasal dari populasi yang sama, atau dengan kata lain tidak terjadi perubahan yang nyata nilai rata – ratanya atau tidak menunjukkan adanya *trend*

Tabel 4.6

Uji Mann dan Whitney Stasiun Hujan Pohgajih

No	Kelompok I	Peringkat	Kelompok II	Peringkat
1	2903	6	3085	7
2	1729	1	1956	2
3	4566	9	2226	4
4	1970	3	4659	10
5	2767	5	3297	8
Jumlah		24		31

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

4.2.2.3 Metode Cox dan Stuart

Perubahan *trend* dapat juga ditunjukkan dengan uji tanda Cox dan Stuart. Nilai data urut waktu dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yang sama. Setiap bagian jumlahnya $n = n/3$. Apabila sample acak tidak dapat dibagi dibagi menjadi 3 bagian yang sama maka bagian yang kedua jumlahnya dikurang 2 atau 1 buah. Selanjutnya membandingkan nilai bagian ke 1 dan ke 3, dan memberi tanda (+) dan (-) diberi tanda S , maka nilai Z dapat dihitung sebagai berikut:

Langkah – Langkah dalam menentukan ada atau tidaknya *trend* menggunakan metode Cox dan Stuart adalah sebagai berikut :

1. Membagi data menjadi tiga kelompok data dengan mengabaikan data pada kelompok dua
2. Menentukan tanda positif dan negative pada data kelompok satu dan kelompok tiga
3. Menentukan nilai S berdasarkan jumlah data positif
4. Menghitung parameter stasistik

$$Z = \frac{S - \frac{n}{6} - 0,5}{\sqrt{\frac{n}{12}}}$$

$$Z = \frac{3 - \frac{10}{6} - 0,5}{\sqrt{\frac{10}{12}}} = 0,912$$

Nilai Z teoritis dari table untuk derajat kepercayaan 5% ditolak adalah 1,960. Oleh karna $Z = 0,912$ lebih kecil dari $Z_c = 1,960$ maka hipotesa diterima. dengan demikian data hasil uji Cox dan Stuart tidak menunjukkan adanya *trend*.

Tabel 4.7

Uji Cox dan Stuart Stasiun hujan Pohgajih

No	Kelompok I	Kelompok III	III - I	Tanda III - I
1	2903	1956	-947	-
2	1729	2226	497	+
3	4566	4659	93	+
4	1970	3297	1327	+
Jumlah				3

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Dari 3 uji yang digunakan yaitu Uji Korelasi Peringkat metode Spearman, Uji Mann and Whitney, dan uji Cox and Stuart dapat disimpulkan data hujan seluruh stasiun hujan tidak menunjukkan adanya trend, sehingga dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

Tabel 4.8

Rekapitulasi ketiadaan Trend Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman

Stasiun Hujan	dk	tc (a=5%)	t hitung	Keterangan
Pohgajih			-1	H0 diterima
Sumberpuncung			-1,811	H0 diterima
Karangsono	8	1,860	-0.959	H0 diterima
Ngajum			-1.168	H0 diterima
Tlekum			-0.469	H0 diterima

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Tabel 4.9

Rekapitulasi ketiadaan Trend Mann and Whitney

Stasiun Hujan	$Z_c(\alpha=5\%)$	Z hitung	Keterangan
Pohgajih		-0.731	H0 diterima
Sumberpuncung		-1.776	H0 diterima
Karangsono	1.960	-0.522	H0 diterima
Ngajum		-0.940	H0 diterima
Tlekum		-0.313	H0 diterima

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Tabel 4.10

Rekapitulasi ketiadaan Trend Cox and Stuart

Stasiun Hujan	$Z_c(\alpha=5\%)$	Z hitung	Keterangan
Pohgajih		0.913	H0 diterima
Sumberpuncung		0.912	H0 diterima
Karangsono	1.960	0.913	H0 diterima
Ngajum		-0.183	H0 diterima
Tlekum		-0.183	H0 diterima

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

4.2.3 Uji Stasioner

Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Data yang diharapkan adalah nilai varian dan rata-ratanya tidak mengalami perubahan yang sistematis atau cenderung konstan dan bersifat homogen.

4.2.3.1 Uji Kestabilan Varian (Uji F) dan Uji Kestabilan Nilai Rata-Rata (Uji T)

Uji F digunakan untuk menguji kestabilan nilai varian data sedangkan Uji T digunakan untuk menguji kestabilan nilai rata-rata data. Data yang digunakan periode tahunan selama 10 tahun. Langkah-langkah pengerjaan uji F dan Uji T adalah sebagai berikut (contoh perhitungan yang digunakan adalah Stasiun Hujan Pohgajih):

1. Membagi data menjadi 2 (dua) kelompok data dengan jumlah data yang sama. Dalam studi ini digunakan data curah hujan bulanan Stasiun Hujan Pohgajih dengan jumlah 120 data yang dibagi menjadi 2 (dua) kelompok data.

Tabel 4.11

Pembagian Kelompok Uji F Data Curah Hujan Tahunan Stasiun Hujan Pohgajih

Kelompok I			Kelompok II		
No.	Tahun	Curah Hujan Tahunan	No.	Tahun	Curah Hujan Tahunan
1	2008	2903.0	6	2013	3085.0
2	2009	1729.0	7	2014	1956.0
3	2010	4566.0	8	2015	2226.0
4	2011	1970.0	9	2016	4659.0
5	2012	2767.0	10	2017	3297.0
Rerata		2787.000	Rerata		3044.600
S1		1114.176	S2		1063.812
n1		5	n2		5
dk1		4	dk2		4

Sumber : Perhitungan 2019

2. Menghitung kestabilan nilai varian data (Uji F) dengan rumus persamaan Uji F.

$$F = \frac{n_1 S_1 (n_2 - 1)}{n_2 S_2 (n_1 - 1)}$$

$$= \frac{5 \times 1114.176 \times (5 - 1)}{5 \times 1063.812 \times (5 - 1)} = 1.097$$

Dengan keterangan:

n1, n2 = jumlah data kelompok 1 dan 2

S1, S2 = standart deviasi kelompok 1 dan 2

3. Membandingkan F_c (F_{kritis}) berdasarkan nilai F_{tabel} dengan nilai dk_1 dan $dk_2 = 4$ dan derajat kepercayaan (α) = 5% diperoleh nilai $F_c = 6,390$. Sehingga diperoleh hasil $F_c < F_{hitung} < F_c$ ($-6,390 < 1,097 < 6,390$). Berdasarkan uji dua sisi, maka H_0 diterima. Dengan kata lain data curah hujan Stasiun Hujan Pohgajih dikatakan memiliki kestabilan nilai varian.
4. Menghitung kestabilan nilai rata-rata (Uji T) dengan rumus persamaan Uji T.

$$\sigma = \left(\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{1/2}$$

$$= \left| \frac{5 \times 1114.176^2 + 5 \times 1063.812^2}{5 + 5 - 2} \right|^{1/2}$$

$$= 1217,857$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}}$$

$$= \frac{2787.000 - 4044.600}{1217.857 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$= -0,334$$

Dengan keterangan:

n_1, n_2 = jumlah data kelompok 1 dan 2

S_1, S_2 = standart deviasi kelompok 1 dan 2

\bar{X}_1, \bar{X}_2 = rata-rata kelompok 1 dan 2

- Membandingkan t_c (t_{kritis}) berdasarkan nilai pada tabel t_{kritis} dengan nilai $dk = 118$ dengan derajat kepercayaan (α) = 5% diperoleh nilai $t_c = 1,860$ Sehingga diperoleh hasil $t_c < t_{hitung} < t_c$ ($-1,860 < -0,334 < 1,860$). Berdasarkan uji dua sisi, maka H_0 diterima. Dengan kata lain data curah hujan Stasiun Hujan Pohgajih dikatakan memiliki kestabilan nilai rata-rata.
- Menghitung Uji F dan Uji T pada semua stasiun hujan seperti tahapan di atas. Hasil perhitungan stasiun hujan lainnya dapat dilihat pada lampiran.

4.2.3.2 Rekapitulasi Hasil Uji Stasioner

Tabel 4.12

Rekapitulasi Hasil Uji F

No.	Stasiun Hujan	F_{hitung}	α	F_c	Keterangan
1	Pohgajih	1,097	5%	6,390	Nilai variannya stabil
2	Sumberpuncung	1,371	5%	6,390	Nilai variannya stabil
3	Karangsono	0,615	5%	6,390	Nilai variannya stabil
4	Ngajum	2,348	5%	6,390	Nilai variannya stabil
5	Tlekung	0,965	5%	6,390	Nilai variannya stabil

Sumber : Hasil Perhitungan, 2019

Tabel 4.13

Rekapitulasi Hasil Uji T

No.	Stasiun Hujan	t_{hitung}	α	t_c	Keterangan
1	Pohgajih	-0,334	5%	1,860	Nilai rata-ratanya stabil
2	Sumberpuncung	-1,753	5%	1,860	Nilai rata-ratanya stabil
3	Karangsono	-0,520	5%	1,860	Nilai rata-ratanya stabil
4	Ngajum	-0,697	5%	1,860	Nilai rata-ratanya stabil
5	Tlekung	-0,173	5%	1,860	Nilai rata-ratanya stabil

Sumber : Hasil Perhitungan, 2019

Berdasarkan Tabel 4.12 dan Tabel 4.13, hasil yang didapat dari Uji F dan Uji T semua data stasiun hujan memiliki nilai varian dan rata-rata yang stabil sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisa selanjutnya.

4.2.4 Uji Inlier-Outlier

Uji *inlier-outlier* digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data ada yang layak digunakan atau tidak. Data yang menyimpang dari dua batas ambang, yaitu ambang bawah (X_L) dan ambang atas (X_H) akan dihilangkan. Data yang digunakan yaitu data hujan kumulatif sebanyak 10 tahun. berikut adalah langkah – langkah dalam uji *inlier – outlier* untuk contoh perhitungan stasiun hujan Pohgajih :

Tabel 4.14
Data Hujan di Stasiun Pohgajih

Pohgajih	
Tahun	CH Tahunan
2008	2903
2009	1729
2010	4566
2011	1970
2012	2767
2013	3085
2014	1956
2015	2226
2016	4659
2017	3297

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

1. Menentukan nilai rerata dan standar deviasi dari data yang ada

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{34,411}{10} \\ &= 3,441\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Sd &= \left(\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{1/2} \\ &= 0,149\end{aligned}$$

2. Menentukan nilai Kn berdasarkan jumlah data yang ada berdasarkan table nilai Kn

$Kn = 2,306$ (berdasarkan table Kn untuk jumlah data 10)

3. Menghitung nilai batas atas dan batas bawah

$$\begin{aligned} X_h &= \bar{X} + Kn.S \\ &= 3,441 + (2,036 \times 0,149) \\ &= 5574,341 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_l &= \bar{X} - Kn.S \\ &= 3,441 - (2,036 \times 0,149) \\ &= 1367,88 \end{aligned}$$

4. Menghilangkan data yang melebihi dari batas atas dan batas bawah yang sudah ditentukan sampai tidak ada lagi data yang melebihi ambang batas.

Tabel 4.15

Uji *Inlier-Outlier* Stasiun Hujan Pohgajih

Pohgajih		
Tahun	CH Tahunan	Log ch
2008	2903	3.46285
2009	1729	3.23779
2010	4566	3.65954
2011	1970	3.29447
2012	2767	3.44201
2013	3085	3.48926
2014	1956	3.29137
2015	2226	3.34753
2016	4659	3.66829
2017	3297	3.51812
	Rerata	3.44112
	Sd	0.14984
	Kn	2.036
	XH	5574.34
	XL	1367.88

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Berdasarkan Tabel 4.18 diperoleh nilai batas ambang atas (X_H) sebesar 5574,3 mm dan nilai batas ambang bawah (X_L) sebesar 1367,8 mm. Dapat disimpulkan bahwa data hujan pada stasiun Pohgajih tidak melewati batas atas maupun batas bawah sehingga data hujan yang digunakan untuk analisa selanjutnya tetap 10 tahun.

4.3 Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang

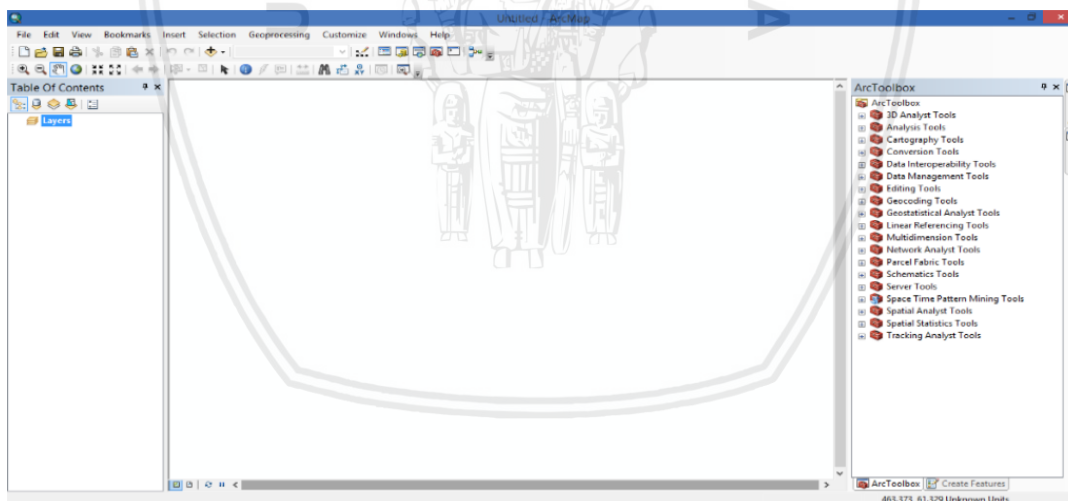
bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan daerah yang dinyatakan dalam millimeter (Sosrodarsono, 1987, p.27).

Analisis curah hujan rerata daerah dilakukan untuk mendapatkan satu nilai besaran curah hujan yang dapat mewakili keseluruhan nilai dalam Sub DAS Lahor. Dalam studi ini, analisis curah hujan rerata daerah dilakukan dengan menggunakan Metode Poligon Thiessen karena cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan, dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luasan tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi (weighting factor) bagi hujan di stasiun yang bersangkutan.

4.3.1 Membuat Poligon Thiessen

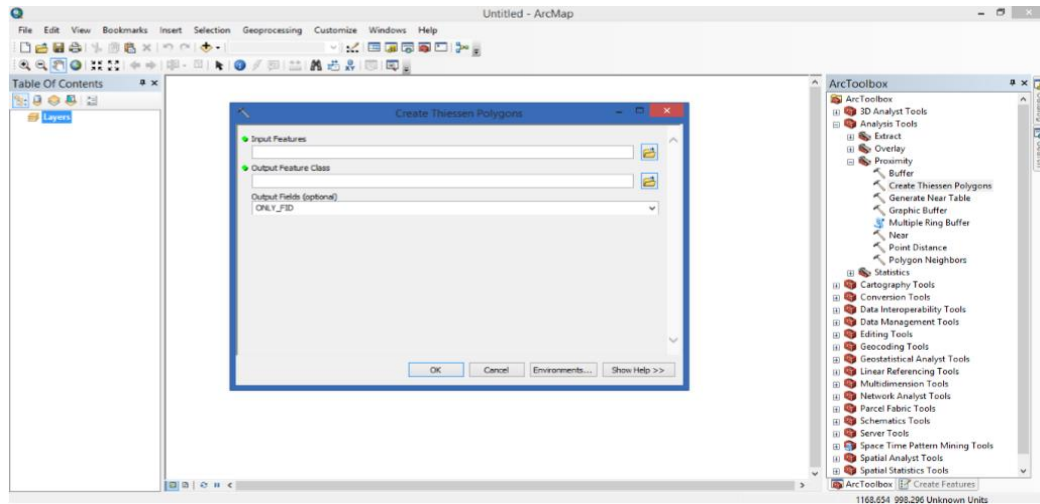
Langkah-langkah pengerjaan metode poligon Thiessen sebagai berikut:

1. Menentukan penggambaran poligon Thiessen pada peta Sub DAS Lahor. Langkah penggambaran poligon Thiessen dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.5 adalah sebagai berikut :
 - a. Buka software ArcGIS 10.5



Gambar 4.2 Tampilan Muka ArcGis 10.5

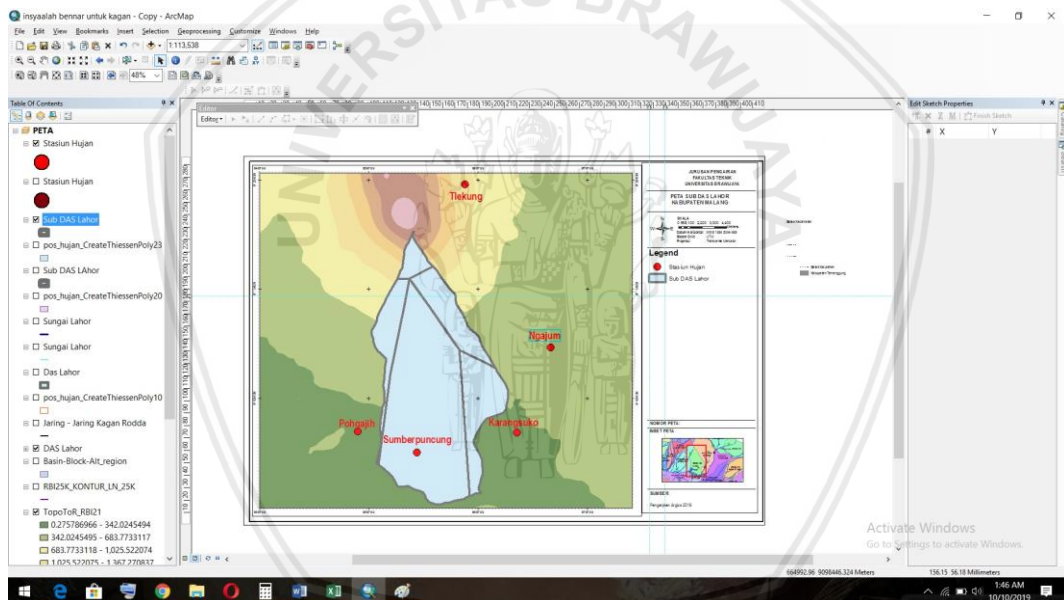
- b. Masukkan data shp batas DAS dan stasiun hujan yang ada dalam software ArcGIS 10.5.
- c. Dalam toolbar Geoprocessing pilih menu arc tool box.
- d. Pilih analysis tools lalu pilih proximity lalu pilih Create Thiessen Polygons.
- e. Pada pilihan Input Feature, masukkan data shp stasiun hujan eksisting DAS.



Gambar 4.3 Visualisasi Input Dasa SHP pada ArcGis 10.5

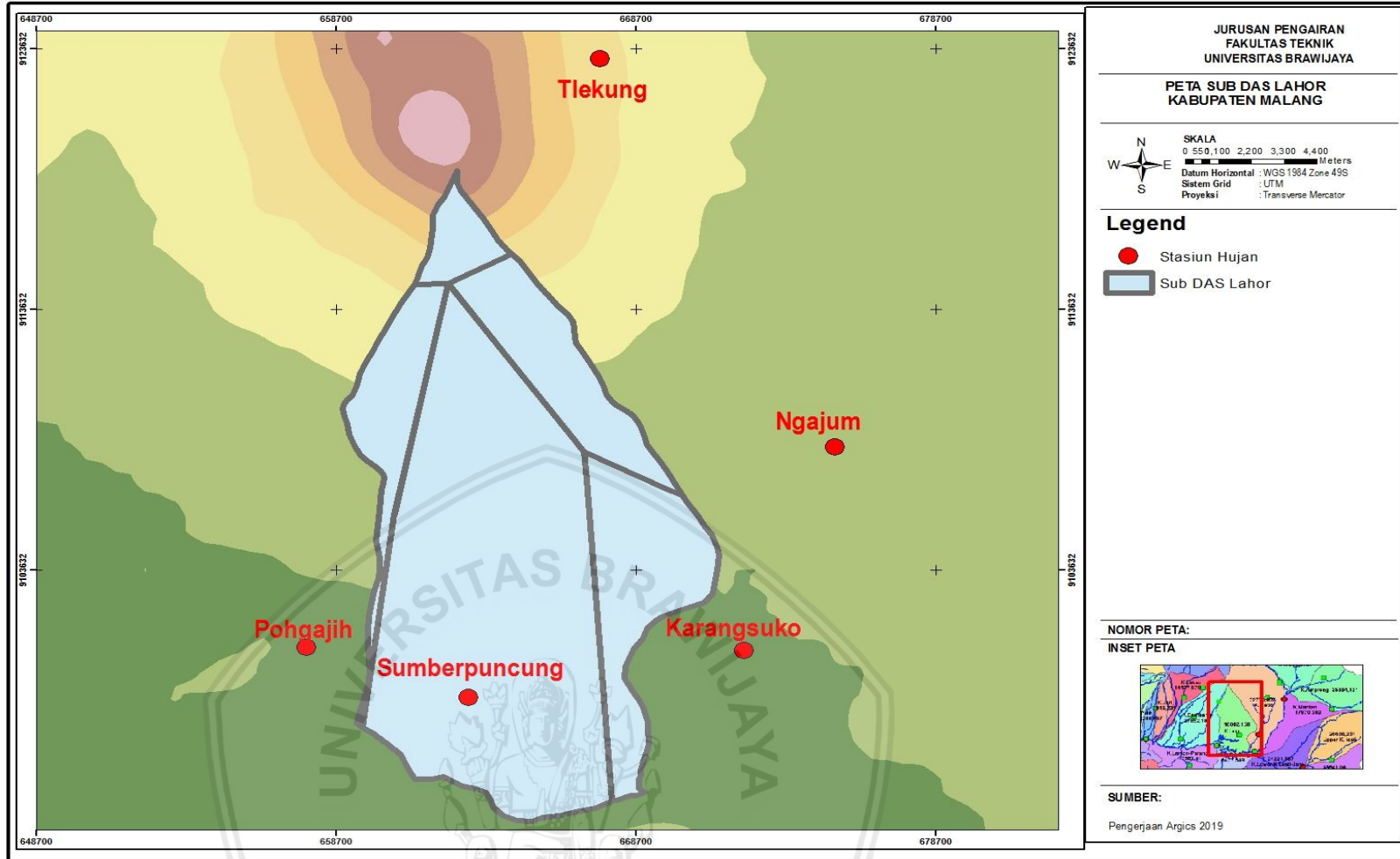
f. Klik OK.

Kemudian hasil poligon Thiessen akan terbentuk seperti gambar berikut:



Gambar 4.4 Visualisasi Pembuatan Poligon Thiessen pada ArcGis 10.5

Hasil penggambaran Poligon Thiessen disajikan pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Poligon Thiessen Stasiun Hujan Eksisting
Sumber : Hasil Penggambaran 2019

2. Pehitungan Faktor Koreksi dan Luas Pengaruh Stasiun Hujan

Langkah – Langkah perhitungan faktor koreksi dan luas pengaruh stasiun hujan adalah dengan cara melakukan perbandingan antara luas daerah pengaruh masing-masing stasiun penakar hujan.

Contoh perhitungan nilai Kr pada Stasiun Pohgajih.

$$\begin{aligned} Kr &= \frac{\text{Luas pengaruh stasiun hujan}}{\text{Total luas DAS}} \\ &= \frac{16.674}{186,111} \\ &= 0,089 \end{aligned}$$

Presentase luas pengaruh stasiun

$$\begin{aligned} \text{Presentase (\%)} &= Kr \times 100 \\ &= 0,089 \times 100 \\ &= 8.94\% \end{aligned}$$

Tabel 4.16

Faktor Koreksi Luas Pengaruh Poligon Thiessen

Stasiun Hujan	Luas		Kr
	Km ²	%	
Pohgajih	16.647	8.944662	0.08945
SumberPuncung	113.477	60.97275	0.60973
Karangsono	28.477	15.30108	0.15301
Ngajum	20.974	11.26962	0.1127
Tlekung	6.536	3.511883	0.03512
Total	186.111	100	1

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Berdasarkan Tabel 4.15, diperoleh nilai Kr pada masing-masing stasiun penakar hujan. Nilai Kr ini dipengaruhi oleh luas daerah pengaruh pada masing-masing stasiun penakar hujan pada luasan keseluruhan daerah Sub DAS Lahor Nilai Kr ini kemudian digunakan untuk menghitung curah hujan rerata daerah dengan Metode Poligon Thiessen.

4.3.2 Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah

Berdasarkan nilai Kr yang telah dihitung sebelumnya, kemudian dapat dihitung curah hujan rerata daerah dengan Metode Poligon Thiessen. Adapun contoh perhitungan menggunakan data curah hujan stasiun dengan data Bulan Januari 2008 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= (X_1 Kr_1) + (X_2 Kr_2) + (X_3 Kr_3) + (X_4 Kr_4) + (X_5 Kr_5) \\ &= (2903 \times 0.089) + (1846 \times 0.609) + (2009 \times 0.153) + (2152 \times 0.112) + (1492 \times 0.035) \\ &= 259.663 + 1125.55 + 307.398 + 242.522 + 52.397 \\ &= 1987.539 \end{aligned}$$

Tabel 4.17

Rekapitulasi Hasil Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah

Tahun	CH Tahunan					CH Daerah
	Pohgajih	Sumberpuncung	Karangsono	Ngajum	Tlekung	
2008	259.66	1125.56	307.40	242.52	52.40	1987.54
2009	154.65	789.60	157.14	189.55	43.76	1334.71
2010	408.41	1680.41	395.69	398.94	83.65	2967.11
2011	176.21	820.08	222.48	202.85	66.62	1488.24
2012	247.50	967.64	248.34	251.99	57.14	1772.60
2013	275.94	1590.17	235.48	326.14	87.06	2514.80
2014	174.96	1199.94	181.16	241.06	47.73	1844.85
2015	199.11	1246.28	294.88	247.71	51.59	2039.57
2016	416.73	1970.03	484.72	368.74	66.66	3306.88
2017	294.91	1468.83	324.77	275.99	59.96	2424.46

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

4.4 Analisa Jaringan Stasiun Hujan dengan Standart WMO

Berdasarkan standart yang telah ditetapkan oleh WMO, Sub DAS Lahor yang merupakan daerah tropis dengan ketentuan 100- 250 km²/Stasiun, dengan luas 186,111 Km² luas daerah pengaruh didasarkan pada luasan daerah pengaruh pada masing – masing stasiun hujan dengan menggunakan *Polygon Thiessen* Hasil analisa dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4.18

Analisa Kerapatan Stasiun Hujan Berdasarkan Standar WMO

No	Stasiun Hujan	Luas		Luas Daerah (Km ²)
		Km ²	%	Kondisi Ideal
				100-250
1	Pohgajih	16.647	8.944662	Tidak Ideal
2	Sumberpuncung	113.477	60.97275	Ideal
3	Karangsono	28.477	15.30108	Tidak Ideal
4	Ngajum	20.974	11.26962	Tidak Ideal
5	Tlekung	6.536	3.511883	Tidak Ideal

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Analisa kerapatan jaringan hidrologi dapat dilihat dari ketetapan yang diberikan oleh Organisasi Meteorologi Dunia. Nilai kerapatan minimum yang telah direkomendasikan dengan melihat luas daerah per satu stasiun dapat dilihat pada WMO. Luas daerah per satu stasiun hujan dicari dengan menggunakan metode poligon Thiessen dari batas Sub DAS yang telah diperoleh dari koordinat stasiun hujan dan peta kontur dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.5.

Kerapatan minimum stasiun hujan dengan daerah pegunungan: tropis mediteran dan sedang adalah 100-250 km²/stasiun hujan. Pada Sub DAS Lahor yang luasnya 186,111 km² terdapat 5 stasiun hujan dengan masing-masing luas stasiun hujan yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 Dapat dilihat bahwa hanya 1 stasiun hujan yang memenuhi standar WMO dimana stasiun lain memiliki luas pengaruh yang kecil.

4.5 Analisa Jaringan Stasiun Hujan dengan Metode Kagan – Rodda

Langkah – Langkah dalam perhitungan metode Kagan Rodda adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai rata – rata hujan daerah dari *Polygon Thiessen*

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \\ &= \frac{21.681}{10} \\ &= 2168.07\end{aligned}$$

2. Menghitung standar deviasi

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= 631.395\end{aligned}$$

3. Menghitung koefisien variasi

$$\begin{aligned}C_v &= \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \\ &= \frac{631.395}{2168.07} \\ &= 0.291\end{aligned}$$



Tabel 4.19

Koefisien Variasi Curah Hujan Rerata Daerah

No	Tahun	Xi (mm)	(Xi -Xrerata)^2
1	2008	1988	32593
2	2009	1335	694505
3	2010	2967	638450
4	2011	1488	462170
5	2012	1773	156401
6	2013	2515	120217
7	2014	1845	104475
8	2015	2040	16514
9	2016	3307	1296880
10	2017	2424	65733
Jumlah		21681	2208811
Xrerata		2168.075	
Std Deviasi		631.395	
Koef Variasi		0.291	

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

4. Menghitung Koefisien korelasi hujan kumulatif tahunan

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 3635,96) - (2608 \times 12,859)}{\sqrt{((10 \times 2,608^2) - 757,483^2) \times ((10 \times 17883,19) - 12,859^2)}}$$

$$= 0,873$$

Tabel 4.20

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Poncokusumo

No	Tahun	Pohgajih		Sumberpuncung		X * Y
		Xi	Xi^2	Yi	Yi^2	
1	2008	260	67,425	1126	1,266,879	292,266
2	2009	155	23,918	790	623,464	122,114
3	2010	408	166,801	1680	2,823,775	686,301
4	2011	176	31,050	820	672,537	144,507
5	2012	247	61,256	968	936,323	239,489
6	2013	276	76,144	1590	2,528,639	438,796
7	2014	175	30,610	1200	1,439,865	209,939
8	2015	199	39,644	1246	1,553,221	248,145
9	2016	417	173,665	1970	3,881,017	820,974
10	2017	295	86,969	1469	2,157,472	433,167
Jumlah		2,608	757,483	12,859	17,883,191	3,635,699
r				0.8737		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Pohgajih Karangsono

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 819,556) - (2,608 \times 2,852)}{\sqrt{((10 \times 757,483^2) - 2,608^2) \times ((10 \times 902,580) - 2,852^2)}}$$

$$= 0,912$$

Tabel 4.21

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Karangsono

No	Tahun	Pohgajih		Karangsono		X * Y
		Xi	Xi^2	Yi	Yi^2	
1	2008	260	67425.153	307	94494	79820
2	2009	155	23917.614	157	24694	24303
3	2010	408	166801.398	396	156567	161603
4	2011	176	31049.908	222	49496	39203
5	2012	247	61255.655	248	61671	61463
6	2013	276	76144.442	235	55453	64980
7	2014	175	30610.158	181	32821	31696
8	2015	199	39644.066	295	86956	58714
9	2016	417	173665.397	485	234956	202000
10	2017	295	86969.258	325	105473	95775
Jumlah		2,608	757,483	2,852	902,580	819,556
r				0.9122		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Pohgajih Ngajum

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 769,885) - (2,608 \times 2,746)}{\sqrt{((10 \times 757,483) - 2,608^2) \times ((10 \times 796,531) - 2,746^2)}}$$

$$= 0,936$$

Tabel 4.22

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Ngajum

No	Tahun	Pohgajih		Ngajum		X * Y
		Xi	Xi^2	Yi	Yi^2	
1	2008	260	67425.153	243	58817	62974
2	2009	155	23917.614	190	35931	29315
3	2010	408	166801.398	399	159157	162934
4	2011	176	31049.908	203	41149	35745
5	2012	247	61255.655	252	63498	62367
6	2013	276	76144.442	326	106369	89997
7	2014	175	30610.158	241	58109	42175
8	2015	199	39644.066	248	61358	49320
9	2016	417	173665.397	369	135971	153666
10	2017	295	86969.258	276	76172	81392
Jumlah		2,608	757,483	2,746	796,531	769,885
r		0.9366				

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Pohgajih Tlekung

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 168,525) - (2,608 \times 617)}{\sqrt{((10 \times 757,483) - 2,608^2) \times ((10 \times 39,918) - 617^2)}}$$

$$= 0,636$$

Tabel 4.23

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Pohgajih dan Tlekung

No	Tahun	Pohgajih		Tlekung		X * Y
		Xi	Xi ²	Yi	Yi ²	
1	2008	260	67425.153	52	2745	13606
2	2009	155	23917.614	44	1915	6767
3	2010	408	166801.398	84	6998	34165
4	2011	176	31049.908	67	4438	11739
5	2012	247	61255.655	57	3265	14142
6	2013	276	76144.442	87	7579	24023
7	2014	175	30610.158	48	2278	8350
8	2015	199	39644.0663	52	2661	10272
9	2016	417	173665.397	67	4443	27777
10	2017	295	86969.258	60	3595	17683
Jumlah		2,608	757,483	617	39,918	168,525
r				0.6366		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Sumberoung Karangsono

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 3,949,03) - (12,859 \times 2,852)}{\sqrt{((10 \times 17,883,19) - 12,859^2) \times ((10 \times 902,580) - 2,852^2)}}$$

$$= 0,812$$

Tabel 4.24

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung Karangsono

No	Tahun	Sumberpuncung		Karangsono		X * Y
		Xi	Xi ²	Yi	Yi ²	
1	2008	1126	1266878.599	307	94494	345995
2	2009	790	623463.657	157	24694	124079
3	2010	1680	2823774.635	396	156567	664914
4	2011	820	672536.988	222	49496	182450
5	2012	968	936322.500	248	61671	240300
6	2013	1590	2528638.700	235	55453	374459
7	2014	1200	1439865.064	181	32821	217388
8	2015	1246	1553221.485	295	86956	367507
9	2016	1970	3881016.797	485	234956	954919
10	2017	1469	2157472.190	325	105473	477026
Jumlah		12,859	17,883,191	2,852	902,580	3,949,037
r				0.8123		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Sumberpuncung Ngajum

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 3,751,63) - (12,859 \times 2,746)}{\sqrt{((10 \times 17,883,19) - 12,859^2) \times ((10 \times 796,53) - 2,746^2)}}$$

$$= 0,921$$

Tabel 4.25

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung Ngajum

No	Tahun	Sumberpuncung		Ngajum		X * Y
		Xi	Xi ²	Yi	Yi ²	
1	2008	1126	1266878.599	243	58817	272973
2	2009	790	623463.657	190	35931	149672
3	2010	1680	2823774.635	399	159157	670390
4	2011	820	672536.988	203	41149	166357
5	2012	968	936322.500	252	63498	243834
6	2013	1590	2528638.700	326	106369	518622
7	2014	1200	1439865.064	241	58109	289255
8	2015	1246	1553221.485	248	61358	308712
9	2016	1970	3881016.797	369	135971	726433
10	2017	1469	2157472.190	276	76172	405388
Jumlah		12,859	17,883,191	2,746	796,531	3,751,634
r				0.9216		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Sumberpuncung Tlekung

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 823,413) - (12,859 \times 617)}{\sqrt{((10 \times 17,883,19) - 12,859^2) \times ((10 \times 39,918) - 617^2)}}$$

$$= 0,604$$

Tabel 4.26
Koefisien Korelasi Antara Stasiun Sumberpuncung Tlekung

No	Tahun	Sumberpuncung		Tlekung		X * Y
		Xi	Xi^2	Yi	Yi^2	
1	2008	1126	1266878.599	52	2745	58976
2	2009	790	623463.657	44	1915	34551
3	2010	1680	2823774.635	84	6998	140571
4	2011	820	672536.988	67	4438	54634
5	2012	968	936322.500	57	3265	55289
6	2013	1590	2528638.700	87	7579	138439
7	2014	1200	1439865.064	48	2278	57269
8	2015	1246	1553221.485	52	2661	64295
9	2016	1970	3881016.797	67	4443	131313
10	2017	1469	2157472.190	60	3595	88074
Jumlah		12,859	17,883,191	617	39,918	823,413
r				0.6040		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Karangsono Ngajum

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n Y^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 831,790) - (2,852 \times 2,746)}{\sqrt{((10 \times 902,580) - 2,852^2) \times ((10 \times 796,531) - 2,746^2)}}$$

$$= 0,789$$

Tabel 4.27
Koefisien Korelasi Antara Stasiun Karangsono Ngajum

No	Tahun	Karangsono		Ngajum		X * Y
		Xi	Xi^2	Xi	Yi^2	
1	2008	307	94494.005	243	58817	74551
2	2009	157	24693.649	190	35931	29787
3	2010	396	156567.431	399	159157	157857
4	2011	222	49496.352	203	41149	45130
5	2012	248	61671.061	252	63498	62578
6	2013	235	55452.563	326	106369	76801
7	2014	181	32820.696	241	58109	43671
8	2015	295	86955.680	248	61358	73044
9	2016	485	234956.418	369	135971	178738
10	2017	325	105472.631	276	76172	89633
Jumlah		2,852	902,580	2,746	796,531	831,790
r				0.7897		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Karangsuiko Tlekung

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 181,238) - (2,852 \times 617)}{\sqrt{((10 \times 902,58) - 2,852^2) \times ((10 \times 39,918) - 617^2)}}$$

$$= 0,413$$

Tabel 4.28

Koefisien Korelasi Antara Stasiun Karangsuiko Tlekung

No	Tahun	Karangsuiko		Tlekung		X * Y
		Xi	Xi ²	Xi	Yi ²	
1	2008	307	94494.005	52	2745	16107
2	2009	157	24693.649	44	1915	6876
3	2010	396	156567.431	84	6998	33100
4	2011	222	49496.352	67	4438	14822
5	2012	248	61671.0616	57	3265	14190
6	2013	235	55452.563	87	7579	20501
7	2014	181	32820.696	48	2278	8646
8	2015	295	86955.680	52	2661	15213
9	2016	485	234956.418	67	4443	32309
10	2017	325	105472.631	60	3595	19474
Jumla						
	h	2,852	902,580	617	39,918	181,238
	r			0.4138		

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

-Perhitungan Koefisien Korelasi antara Ngajum Tlekung

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X^2 \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right) \right]}}$$

$$= \frac{(10 \times 176,093) - (2,746 \times 617)}{\sqrt{((10 \times 796,531) - 2,746^2) \times ((10 \times 39,918) - 617^2)}}$$

$$= 0,7556$$

Tabel 4.29
Koefisien Korelasi Antara Stasiun Ngajum Tlekung

No	Tahun	Ngajum		Tlekung		X * Y
		Xi	Xi ²	Xi	Yi ²	
1	2008	243	58817.014	52	2745	12708
2	2009	190	35931.092	44	1915	8295
3	2010	399	159156.714	84	6998	33373
4	2011	203	41149.394	67	4438	13514
5	2012	252	63498.291	57	3265	14398
6	2013	326	106369.102	87	7579	28394
7	2014	241	58108.546	48	2278	11505
8	2015	248	61358.370	52	2661	12779
9	2016	369	135970.605	67	4443	24579
10	2017	276	76172.114	60	3595	16549
Jumlah		2,746	796,531	617	39,918	176,093
r				0.7556		

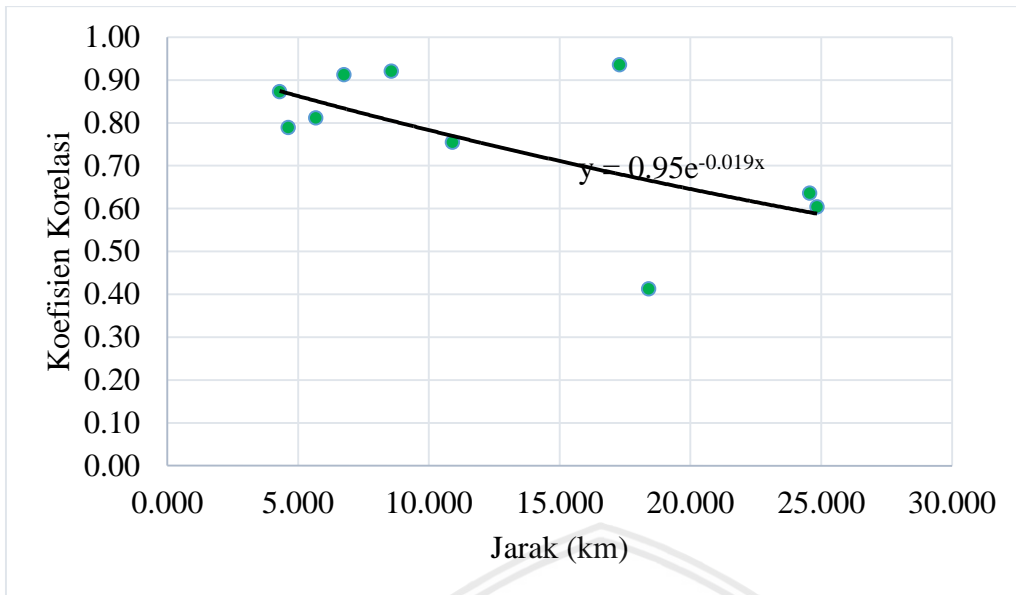
Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Tabel 4.30
Rekapitulasi Koefisien Korelasi Hujan Kumulatif Tahunan

Nama Stasiun	Keterangan	Jarak dan Koefisien Korelasi				
		Pohgajih	Sumberpuncung	Karangsuko	Ngajum	Tlekung
Pohgajih	Jarak	-	4.290	6.749	17.290	24.559
	Koef. Korelasi	-	0.873	0.912	0,936	0,636
Sumberpuncung	Jarak	4.290	-	5.672	8.566	24.837
	Koef. Korelasi	0.873	-	0.812	0.921	0.604
Karangsuko	Jarak	6.749	5.672	-	4.620	18.406
	Koef. Korelasi	0.912	0.812	-	0.789	0.413
Ngajum	Jarak	17.290	8.566	4.620	-	10.900
	Koef. Korelasi	0,936	0.921	0.789	-	0.755
Tlekung	Jarak	24.559	24.837	18.406	10.900	-
	Koef. Korelasi	0,636	0.604	0.413	0.755	-

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

- Selanjutnya digambarkan grafik hubungan antar stasiun dengan koefisien korelasi dalam sebuah grafik lengkung eksponensial. Nilai koefisien korelasi yang bernilai negative tidak diikut sertakan atau dihapuskan.



Gambar 4.6 Hubungan Korelasi dan Jarak Antar Stasiun Hujan

6. Berdasarkan gambar grafik diatas, diperoleh nilai $y = 0,950e^{0,0019x}$ dari persamaan berikut nilai $r_{(0)} = 0,950$ dan nilai radius korelasi $d_{(0)} = 1/0.019 = 52,631$ yang kemudian dimasukkan dalam perhitungan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi sebagaimana tercantum pada table berikut :
7. Berdasarkan nilai $d_{(0)} = 1/0.019 = 52,631$ berikut perhitungan nilai (Z_1) dan (Z_3)
 Dengan $r_{(0)} = 0,950$ adalah koefisien dari persamaan grafik lengkung eksponensial dengan luas Sub DAS Lahor $186,111 \text{ km}^2$ berikut contoh perhitungannya:
 - Nilai kesalahan perataan (Z_1)

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Cv \cdot \sqrt{\frac{1 - r_o + \left(\frac{0.23\sqrt{A}}{d_o\sqrt{n}} \right)}{n}} \\
 &= 0.29 \cdot \sqrt{\frac{1 - 0.932 + \left(\frac{0.23\sqrt{181.111}}{52.631\sqrt{3}} \right)}{3}} \\
 &= 4,89\%
 \end{aligned}$$

- Nilai kesalahan perataan (Z_3)

$$Z_1 = C_v \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{3} - (1 - r_o) + \left(\frac{0.52 r_o \sqrt{A}}{d_o} \right)^2 \right]}$$

$$= 0.29 \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{3} - (1 - 0.932) + \left(\frac{0.52(0.932) \sqrt{180.111}}{52.631} \right)^2 \right]}$$

$$= 8.77\%$$

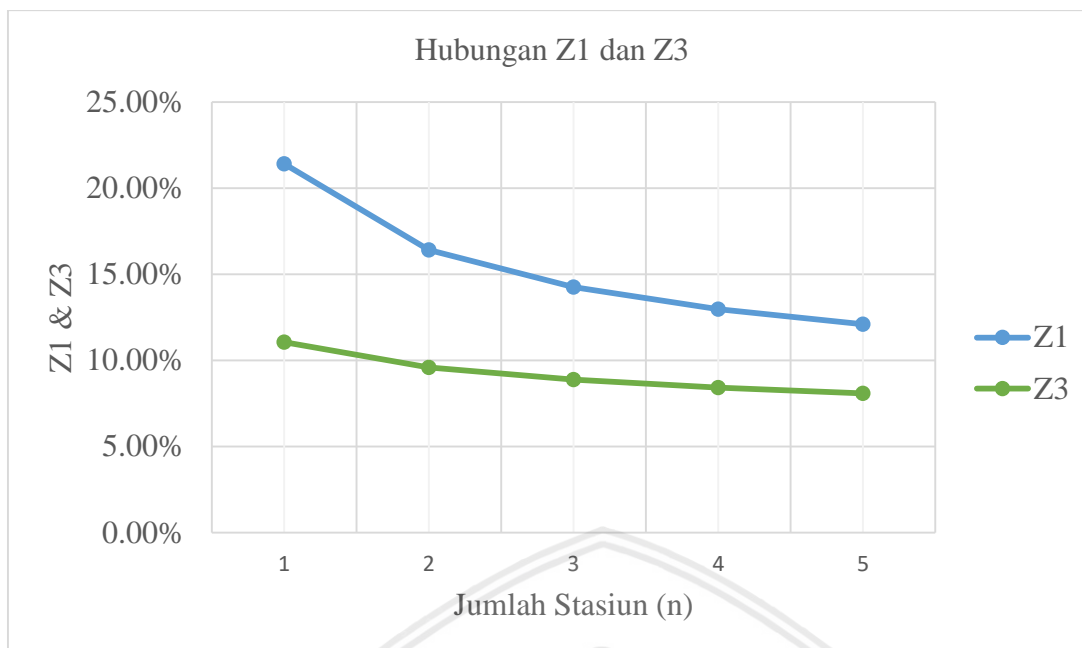
Tabel 4.31

Kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan Interpolasi (Z_3)

n	Cv	r(0)	A	d(0)	A ^{1/2}	N ^{1/2}	r(0)	d(0)*N ^{1/2}	(A/N) ^{1/2}	Z1	Z3
1	0.291	0.950	186.111	52.63	13.642	1.000	0.050	52.63	13.64	9.64%	11.08%
2	0.291	0.950	186.111	52.63	13.642	1.414	0.050	74.43	9.65	6.25%	9.54%
3	0.291	0.950	186.111	52.63	13.642	1.732	0.050	91.16	7.88	4.89%	8.77%
4	0.291	0.950	186.111	52.63	13.642	2.000	0.050	105.26	6.82	4.11%	8.27%
5	0.291	0.950	186.111	52.63	13.642	2.236	0.050	117.68	6.10	3.61%	7.92%

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

- Berdasarkan table perhitungan kesalahan perataan (Z_1) dan kesalahan Interpolasi (Z_3) diatas, didapatkan untuk Sub DAS Lahor seluas 186,111 km² menurut metode Kagan Rodda dibutuhkan stasiun hujan sejumlah 3 stasiun di titik lokasi yang nantinya akan ditentukan dengan jarring – jarring Kagan – Rodda. dengan nilai kesalahan perataan (Z_1) adalah = 4,89% dan kesalahan Interpolasi (Z_3) = 8,77 %



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Jumlah Stasiun Z_1 dan Z_3 pada Sub DAS Lahor

9. Dengan didapatkan jumlah stasiun menurut Kagan – Rodda sebanyak 3 stasiun selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai panjang sisi – sisi segitiga jarring – jarring Kagan – Rodda

$$\begin{aligned}
 L &= 1,07 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}} \\
 &= 1,07 \times (186,111 / 3) \\
 &= 8,426 \text{ km}
 \end{aligned}$$

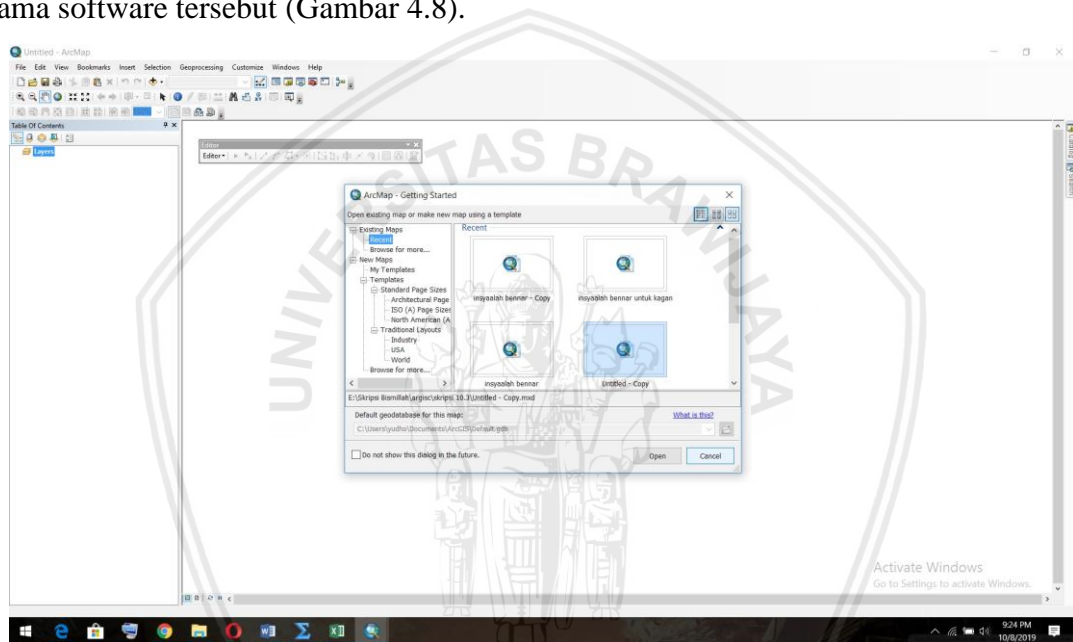
10. Dengan panjang sisi – sisi segitiga sebesar Kagan – Rodda sebesar 8,246 km² maka dapat digambarkan jaring – jaring segitiga Kagan – Rodda yang selanjutnya di plotkan diatas peta Sub DAS Lahor. Jaring – Jaring segitiga Kagan – Rodda digeser sedemikian rupa dengan menggeser titik – titik simpul sesuai dengan jumlah stasiun yang ada pada sub DAS Lahor.

4.6 Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan dengan Metode Kagan – Rodda

Rasionalisasi dilakukan dengan menggunakan perhitungan metode Kagan-Rodda dengan memerhatikan standar WMO untuk Sub DAS Lahor yaitu 100 – 250 km²/stasiun hujan. Pada perhitungan analisa telah ditentukan jumlah stasiun hujan (n) yaitu 3, kemudian akan dilakukan rasionalisasi dengan cara sebagai berikut:

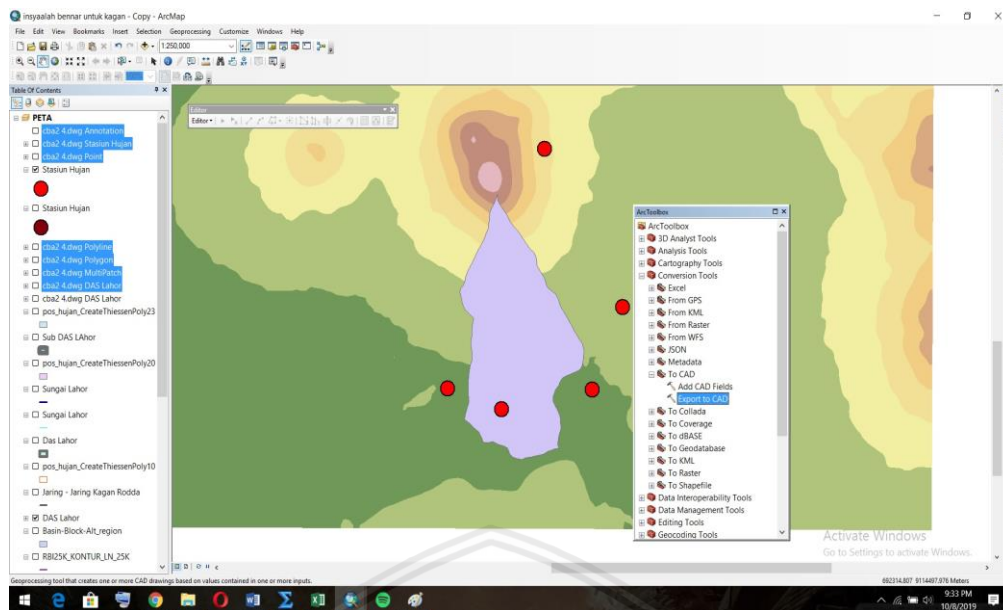
1. Hasil panjang sisi-sisi segitiga Kagan-Rodda yang telah dihitung sebesar 8,426 km², kemudian akan digambarkan menjadi jaring-jaring segitiga Kagan-Rodda yang selanjutnya di plot kan diatas peta Sub DAS Lahor.

2. Pemilihan percobaan stasiun hujan Kagan-Rodda berdasarkan pada jaring-jaring dimana jumlah stasiun di dalamnya sesuai dengan perhitungan kesalahan perataan dan kesalahan interpolasi (stasiun hujan dan keandalan data yang baik).
3. Gambar jaring-jaring segitiga Kagan-Rodda diplotkan diatas peta Sub DAS Lahor dan stasiun hujan Dampit sebagai titik acuan pada trial pertama. Dengan mengacu pada stasiun Dampit, maka simpul-simpul segitiga dalam DAS dapat ditentukan sesuai dengan jumlah stasiun hasil perhitungan, dan simpul – simpul tersebut merupakan lokasi stasiun hujan Kagan-Rodda.
4. Plot dilakukan dengan software ArcGis 10, dengan langkah awal membuka halaman utama software tersebut (Gambar 4.8).



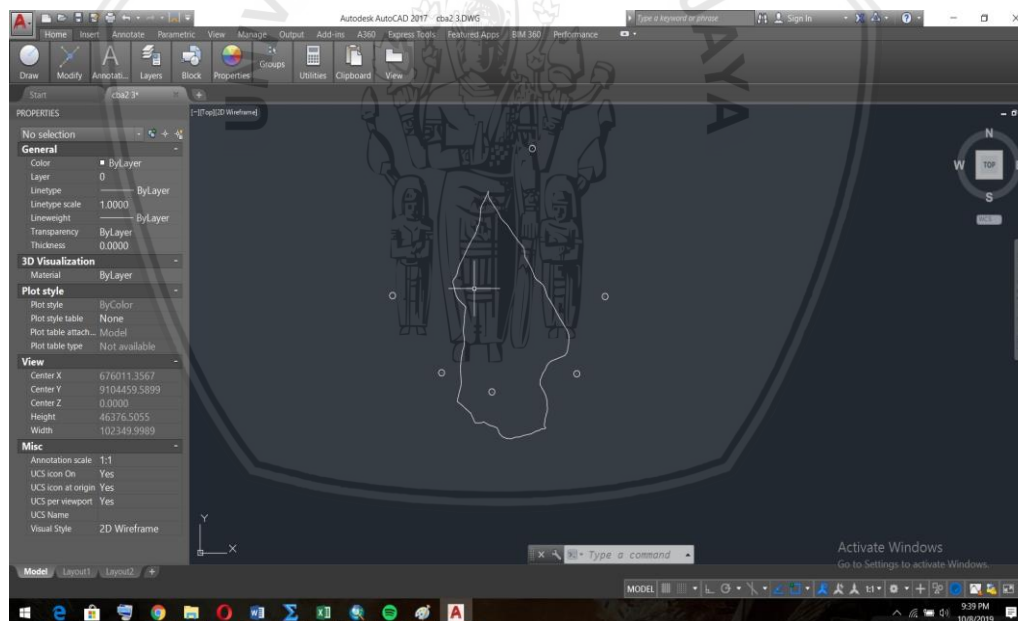
Gambar 4.8 Tampilan Awal Halaman Kerja ArcGisc 10.5

5. Merubah file *SHP* kedalam bentuk *CAD* menggunakan *ArcToolBox – Conversion Tools – To CAD – Export to CAD* (Gambar 4.9)



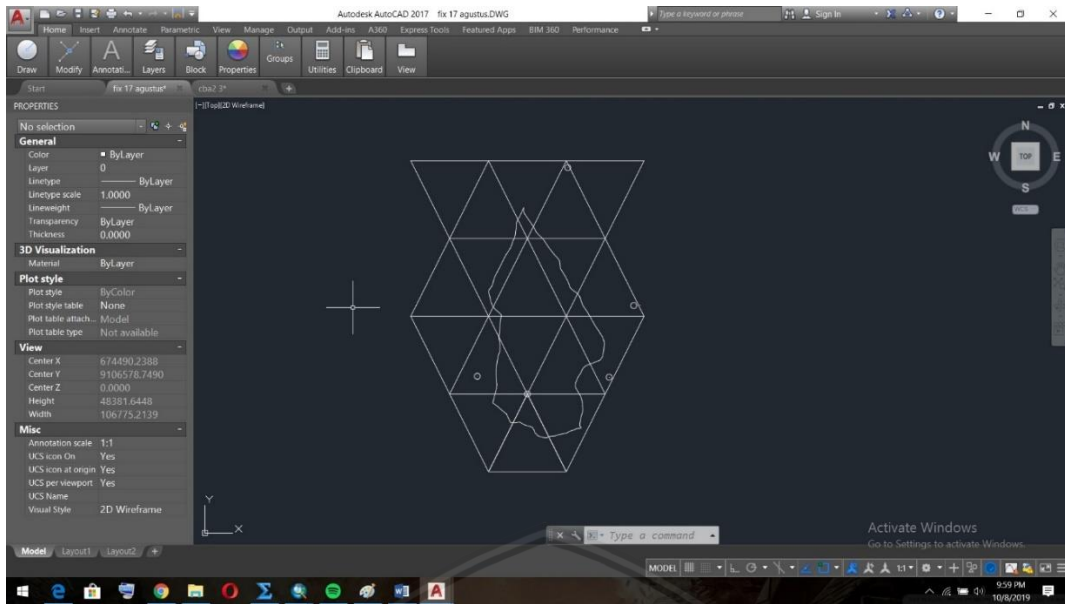
Gambar 4.9 Merubah file *SHP* kedalam bentuk *CAD*

6. Didapatkan batas DAS dan koordinat stasiun hujan tampil pada halaman pengerjaan *AutoCad 2017* sebagai berikut (Gambar 4.10):



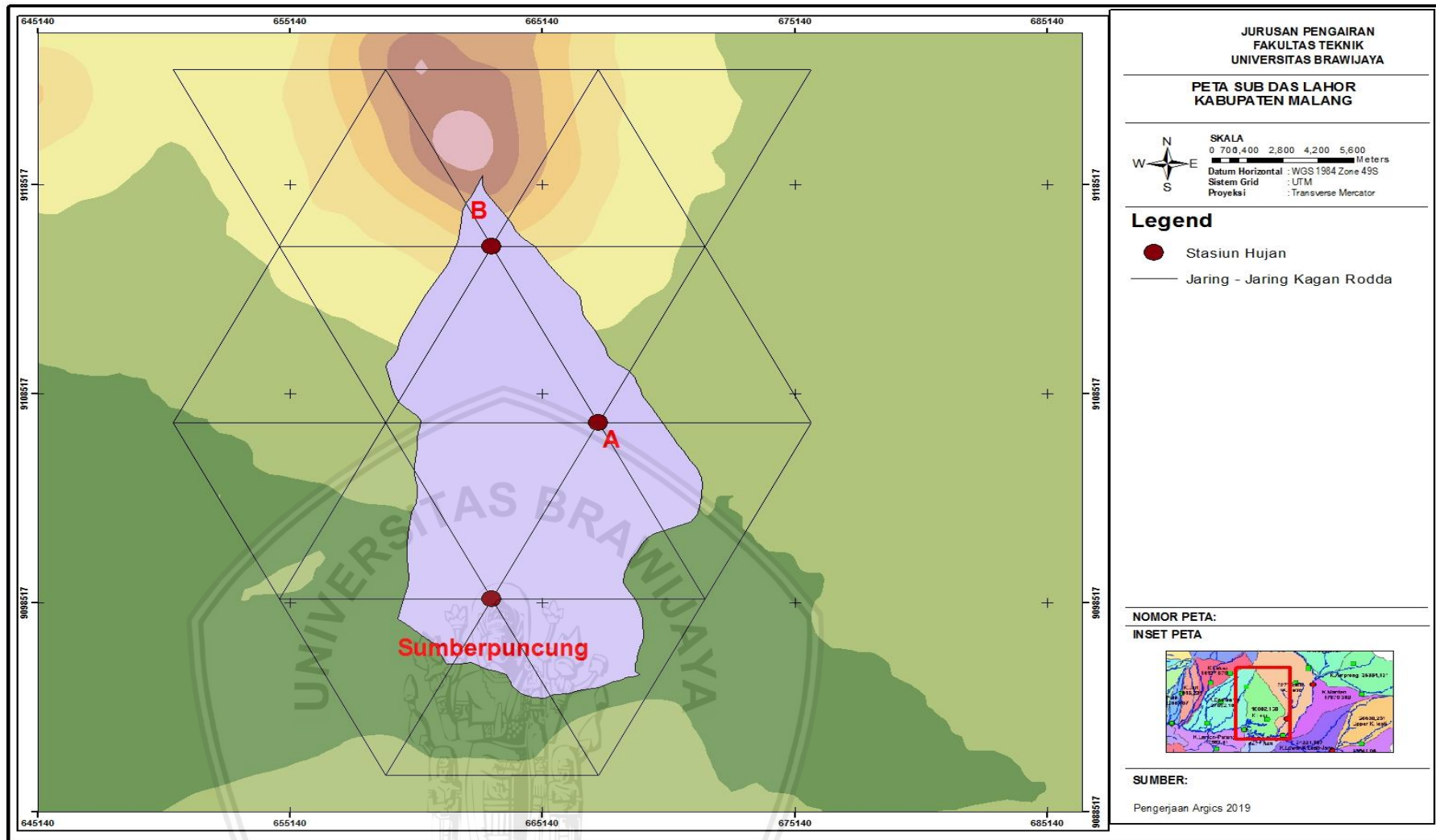
Gambar 4.10 Hasil Input Data Digitasi pada *AutoCAD 2017*

7. Dengan $L = 8,426 \text{ km}^2$, digambarkan jaringan segitiga Kagan-Rodda yang mencakup batas Sub Das Lahor. Dapat dilihat seperti Gambar 4.11:

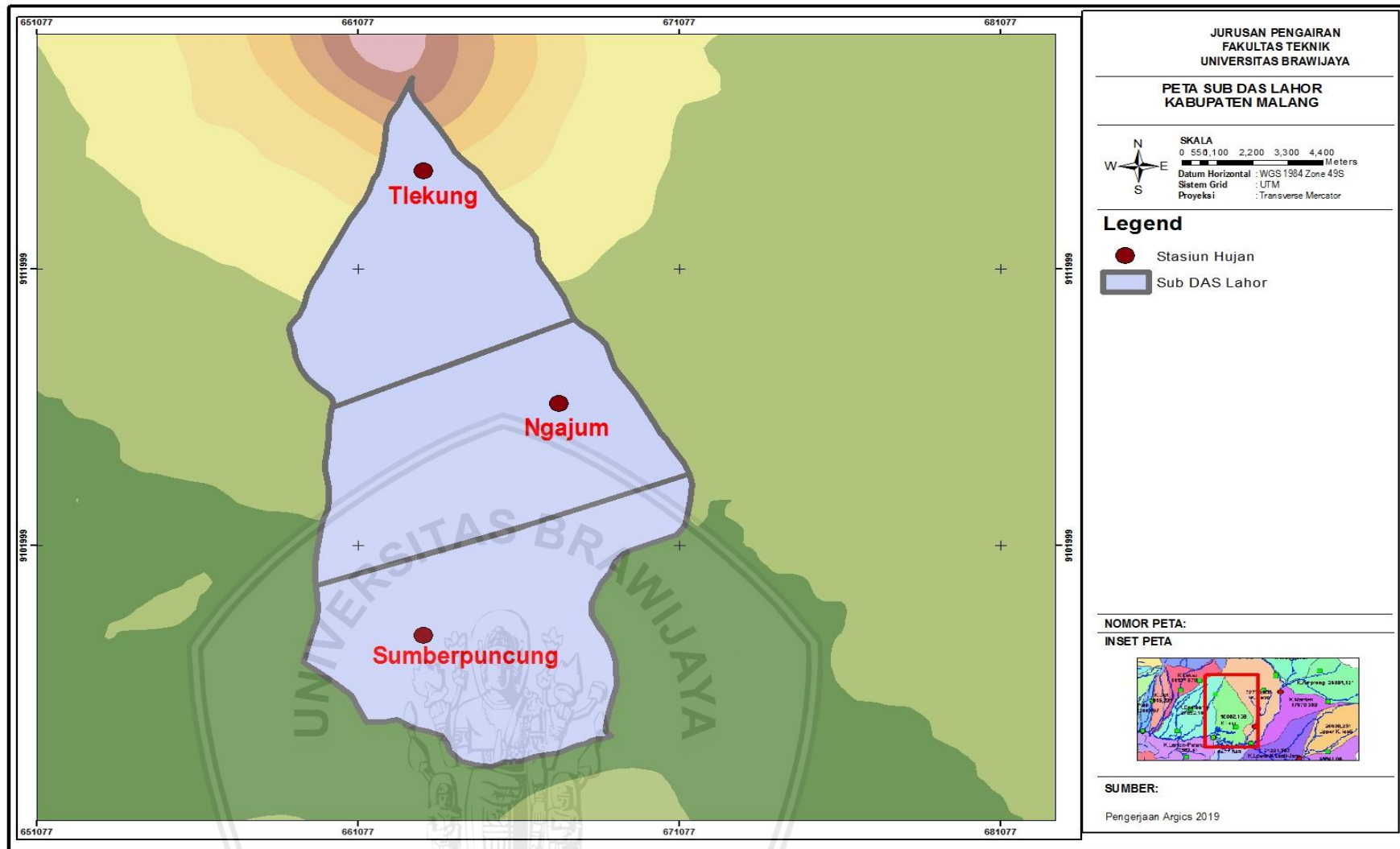


Gambar 4.11 Proses Penggambaran Jaring-Jaring Kagan-Rodda

8. Setelah mendapatkan titik koordinat stasiun hujan hasil rekomendasi pertama dengan stasiun acuan Stasiun Sumberpuncung, dilanjutkan mencari luasan Thiessen yang baru dengan program ArcGIS 10.5. Jaring Kagan-Rodda dan hasil poligon Thiessen disajikan pada gambar berikut (Gambar 4.12 & 4.13):



Gambar 4.12 Stasiun Hujan Rekomendasi dengan Jaring-jaring Kagan –Rodda
Sumber : Hasil Penggambaran 2019



Gambar 4.13 Polygon Thiessen Stasiun Hujan Terpilih Kagan – Rodda
Sumber : Hasil Penggambaran 2019

9. Hasil dengan titik acuan stasiun Sumberpuncung didapatkan luas pengaruh seperti berikut :

Tabel 4.32

Luas Pengaruh Stasiun Hujan

Stasiun	Luas (km ²)	Luas Pengaruh (%)
Sumberpuncung	68.83	37.0
Ngajum	64.85	34.8
Tlekung	52.43	28.2
Σ (Jumlah)	186.111	100

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

10. Dengan Pergeseran stasiun Ngajum sejauh 7,012 km² kearah Barat dan stasiun Tlekung sejauh 8,470 km² kearah Selatan maka didapatkan kordinat stasiun hujan yang baru berdasarkan rekomendasi Kagan- Rodda sebagai berikut :

Tabel 4.33

Lokasi Stasiun Hujan Rekomendasi Kagan –Rodda

Titik	Stasiun	Luas (km ²)	Lintang	Bujur
Sumberpuncung	Sumberpuncung	108,594	112.4834	-8.15376
B	Ngajum	40,793	112.6112	-8.06465
C	Tlekung	36,633	112.5381	-7.90972

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Tabel 4.34

Kordinat Stasiun Hujan Eksisting Terpilih dan Stasiun Hujan Kagan – Rodda

Titik	Stasiun	Eksisting		Kagan - Rodda	
		Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
A	Sumberpuncung	112.4834	-8.15376	112.4807	-8.15111
B	Ngajum	112.6112	-8.06465	112.5186	-8.07478
C	Tlekung	112.5381	-7.90972	112.4807	-7.99873

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

(Halaman ini Sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan standart WMO (*World Meteorological Organization*) dengan ketentuan 100 – 250 km²/Stasiun untuk daerah tropis, Sub DAS Lahor dengan luas 186,111 km² terdapat 1 stasiun hujan terpilih dari 5 stasiun hujan yaitu stasiun hujan Sumberpuncung.
2. Melalui analisa Kagan – Rodda, kerapatan jaringan stasiun hujan pada Sub DAS Lahor diperoleh 3 stasiun hujan yang dipilih berdasarkan pembuatan jaring – jaring Kagan – Rodda dengan nilai kesalahan perataan (Z_1) kurang dari 5%. Stasiun hujan tersebut adalah stasiun hujan Sumberpuncung, Ngajum, dan Tlekung.
3. Hasil rekomendasi rasionalisasi jumlah stasiun hujan berdasarkan jaring – jaringan Kagan – Rodda :
 1. Menggunakan stasiun acuan Sumberpuncung
 2. Melakukan penggeseran stasiun Ngajum sejauh 7,012 km² kearah Barat dan stasiun Tlekung sejauh 8,470 km² kearah Selatan
 3. Didapatkan luasan Poligon Thiessen yang lebih merata.

5.2 Saran

1. Ketelitian pengambilan data di lapangan sangat diharapkan, agar mendukung proses analisa informasi sumberdaya air dengan maksimal.
2. Diperlukan analisa lanjut mengenai kondisi dan penempatan letak stasiun hujan berdasarkan rekomendasi dari studi ini agar mendapatkan informasi sumberdaya air yang lebih optimal.
3. Diharapkan untuk studi selanjutnya dapat menggunakan metode lain dalam menentukan pola sebaran stasiun hujan agar mendapatkan perbandingan antar tiap metode sehingga kerapatan stasiun hujan semakin baik lagi dalam penyempurnaannya.

Halaman ini sengaja dikosongkan



Daftar Pustaka

- Arifah, S. (2018). *Rasionalisasi Jaringan Pos Stasiun Hujan Pada DAS Kemuning Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Kagan-Rodda dan Kriging*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rega, Y. (2018). *Rasionalisasi Jaringan Hujan Menggunakan Metode Kagan-Rodda Dengan Memperhitungkan Faktor Topografi Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Sampean, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur Universitas Brawijaya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rachmaddin, N. (2018). *Studi Perbandingan Analisa Frekuensi Hujan Rata-Rata Berdasarkan Jaringan Stasiun Hujan Metode KAGAN RODDA di DAS Brantas Hulu*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suhartini, Y. (2018). *Studi Alternatif Penerapan Cara Kagan - Rodda Pada Evaluasi Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan di Sub DAS Widas*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Lukitosari, H. (2018). *Kajian Pola Penyebaran dan Kerapatan Stasiun Hujan Terhadap Bentuk DAS Berdasarkan Metode Kagan - Rodda di DAS Ringotok dan DAS Serinjing*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Singapore: McGrawHill Book Company.
- Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. (2015). *Panduan Penulisan Skripsi*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Harto Br, S. (1989). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Harto Br, S. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Harto Br, S. (2000). *Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Indarto. (2010). *Hidrologi: Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Lestari, D.U. (2018). *Studi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di DAS Cisadane Menggunakan Metode Kagan Rodda*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Limantara, L. M. (2009). *Hidrologi Dasar*. Malang: Tirta Media.
- Limantara, L. M. (2010). *Hidrologi Praktis*. Malang: Tirta Media.
- Limantara, L. M. & Soetopo, W. (2014). *Statistika Terapan Untuk Teknik Pengairan*. Malang: CV Citra.
- Linsley, R., Kohler, M. A., & Paulhus. (1986). *Hidrologi Untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga. Juli 1998.
- Martha, W. & Adidarma W. (1983). *Mengenal Dasar-Dasar Hidrologi*. Bandung: Nova.

- Prahasta, E. (2001). *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.
- Rodhita, M. (2012). *Rasionalisasi Jaringan Penakar Hujan Di DAS Kedungsoko Kabupaten Nganjuk*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Seyhan, E. (1995). *Dasar-dasar Hidrologi (Terjemahan)*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Soemarto, CD. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: NOVA.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: NOVA.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

