

**ANALISA KERAPATAN JARINGAN STASIUN HUJAN  
DI SUB DAS KADALPANG KABUPATEN PASURUAN  
MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN DAN  
HUBUNGANNYA TERHADAP ASPEK TOPOGRAFI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN  
PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YAHYA MUCHAIMIN AJI  
NIM. 135060401111051**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**ANALISA KERAPATAN JARINGAN STASIUN HUJAN  
DI SUB DAS KADALPANG KABUPATEN PASURUAN  
MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN DAN  
HUBUNGANNYA TERHADAP ASPEK TOPOGRAFI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN  
PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YAHYA MUCHAIMIN AJI  
NIM. 135060401111051**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA KERAPATAN JARINGAN STASIUN HUJAN DI SUB DAS KADALPANG KABUPATEN PASURUAN MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN DAN HUBUNGANNYA TERHADAP ASPEK TOPOGRAFI

## SKRIPSI

### TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YAHYA MUCHAIMIN AJI**  
**NIM. 135060401111051**

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 8 Januari 2018

Dosen pembimbing I

**Dr. Very Dermawan, ST., MT.**  
NIP. 19730217 199903 1 001

Dosen pembimbing II

**Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT.**  
NIP. 19750227 199903 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



**Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.**  
NIP. 19610131 198609 2 001

## **PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 Januari 2018



Yahya Muchaimin Aji  
NIM. 135060401111051



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**

## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 10 /UN10.F07.14.11/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

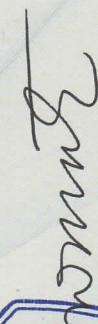
**YAHYA MUCHAIMIN AJI**

Dengan Judul Skripsi :

**ANALISA KERAPATAN JARINGAN STASIUN HUJAN DI SUBDAS KADALPANG KABUPATEN PASURUAN MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN DAN HUBUNGANNYA TERHADAP ASPEK TOPOGRAFI**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 12 JANUARI 2018

Ketiga Dosen Teknik Pengairan

  
**D. R. Ussy Andawayanti, M.S.**  
NIP. 19610131 198609 2 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan



**Dr. Very Dermawan, ST, MT**  
NIP. 19730217 199903 1001

رَبِّيْ زِدْنِي عِلْمًا وَأَرْزُقْنِي فَهْمًا

“*Ya Allah. Tambahkanlah Aku Ilmu, dan Berikan Aku Karunia untuk dapat Memahaminya.*”  
*Ya Allah Kabulkanlah Do’aku Ini.*

## RINGKASAN

**Yahya Muchaimin Aji**, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Analisa Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di Sub Das Kadapang Kabupaten Pasuruan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan dan Hubungannya terhadap Aspek Topografi*, Dosen Pembimbing: Very Dermawan dan Donny Harisuseno.

Kabupaten Pasuruan dengan luas wilayah 147.401,50 Ha terdiri dari 24 Kecamatan. Kabupaten Pasuruan memiliki Pegunungan Arjuno-Welirang dan Pegunungan Bromo. Terdapat 5 (lima) DAS besar di wilayah ini, yaitu DAS Lawean, Petung, Kedunglarangan, Rejoso, dan Welang. Sub DAS Kadapang merupakan bagian hulu dari DAS Kedunglarangan. Pada Sub DAS seluas 86,4 Km<sup>2</sup> ini terdapat 9 stasiun hujan. Sebagai kabupaten yang tingkat perekonomian maju, maka nilai ekonomi data menjadi tinggi dan sangat berharga. Akibatnya, ketelitian data menjadi tuntutan dalam setiap perencanaan bangunan air agar sesuai dengan harapan.

Sama halnya dengan DAS lainnya, Sub DAS Kadapang juga menyimpan segudang permasalahan. Selain kuantitas, aspek kualitas juga cukup mengkhawatirkan. Dalam hal ini, data hujan dan data debit berperan sebagai masukan utama yang memegang peranan vital dalam pengelolaan sumber daya air seperti pengendalian banjir, pemenuhan kebutuhan air, dan sebagainya. Untuk itu, analisis ini bertujuan mengetahui jaringan stasiun baru yang lebih efektif dan lebih representatif terhadap konsidi DAS saat ini, sehingga dapat mengoptimalkan kualitas data dan jumlah stasiun hujan. Kemudian, hasil analisis bisa menjadi masukan kepada instansi terkait agar dijadikan pertimbangan pengambilan keputusan guna efisiensi biaya, tenaga, dan waktu. Adanya kajian hubungan antara aspek topografi sebagai sebuah variabel baru juga diharapkan menjadi temuan yang memberikan kemudahan dalam analisis kerapatan jaringan stasiun hujan pada masa mendatang.

Analisis kerapatan jaringan stasiun hujan dikaji menggunakan 4 metode, yaitu WMO, Bleasdale, Sugawara, dan Varshney. Dari empat metode tersebut, hanya Sugawara yang tidak menyarankan pengurangan jumlah stasiun. Agar mempermudah analisis pada tahap berikutnya, diambil jumlah stasiun rekomendasi Bleasdale sebagai batas bawah jumlah stasiun, yaitu 4 stasiun. Sehingga secara keseluruhan terdapat 381 kemungkinan jaringan baru yang bisa dibuat pada Sub DAS Kadapang. Pemodelan debit JST dilakukan dengan menggunakan data dari 9 stasiun hujan dan AWLR selama 10 tahun terakhir (2007-2016). Arsitektur JST yang digunakan adalah *Multi Layer Perceptron* (MLP) menggunakan bantuan aplikasi *NeuroSolutions 7.1 for Excel*. Komposisi bobot data yang digunakan adalah 60-25-15 yang berarti 60% *Training*, 25% *Cross Validation*, dan 15% *Testing*. Jumlah epoch yang dipakai adalah 1000 epoch dengan basis data bulanan. Jaringan terbaik dengan Kesalahan Ralatif (KR) terkecil sebesar 11,4% dan NSE ‘Baik’ adalah nomor 197 dengan kode Wn-Rp-Ks-Wl-Bk yang terdiri dari stasiun Winong, Randupitu, Kasri, Wilo, dan Bekacak. Pada jaringan baru yang terpilih ini, terdapat hubungan yang kuat antara aspek topografi terhadap curah hujan, serta hubungan antar parameter topografi tersebut. Beda tinggi memiliki hubungan baik dengan curah hujan ( $R = 0,918$ ), dimana semakin tinggi elevasi stasiun hujan (semakin besar beda tinggi terhadap AWLR), maka curah hujannya juga akan bernilai semakin tinggi. Selain itu, beda Tinggi dan jarak juga memiliki hubungan yang sangat kuat ( $R = 0,994$ ), dimana semakin besar beda elevasi stasiun hujan terhadap AWLR, maka secara umum jaraknya juga akan semakin jauh.

Kata kunci: Jaringan Stasiun Hujan, Jaringan Syaraf Tiruan, *NeuroSolutions*, Topografi

## SUMMARY

**Yahya Muchaimin Aji**, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2018, *Density Analysis of Precipitation Station Network in Kadalpang Sub Watershed Using Artificial Neural Network (ANN) Method and Its Relation to Topographical Aspect*, Academic Supervisor: Very Dermawan and Donny Harisuseno.

Pasuruan Regency with an area of 147,401.50 Ha consists of 24 Districts. Pasuruan Regency has Arjuno-Welirang Mountains and Bromo Mountains. There are 5 (five) major watersheds in this region, namely Lawean, Petung, Kedunglarangan, Rejoso, and Welang Watershed. Kadalpang Sub watershed is the upstream part of Kedunglarangan watershed. In this 86.4 km<sup>2</sup> sub basin, there lies 9 rain stations. As an advanced in economies district, the economic value of data is high and very valuable. As a result, the accuracy of the data becomes a demand in every water building planning to match our expectations.

Similar to other watersheds, Kadalpang Sub Watershed also keeps a myriad of problems. In addition to quantity, quality aspects are also quite alarming. In this case, rainfall data and discharge data serve as the main inputs that play a vital role in the management of water resources such as flood control, water demand, and so on. Therefore, this analysis is aimed to find out the new station network which is more effective and more representative to the current watershed condition, so that it can optimize the data quality. Then, the results of the analysis can be an input to relevant agencies to be taken into consideration decision-making for cost efficiency, energy, and time. The study of the relationship between the topography aspects as a new variable is also expected to be a finding that facilitates the analysis of future rainfall station density.

Analysis of rain station network density was assessed using 4 methods, namely WMO, Bleasdale, Sugawara, and Varshney. Of these four methods, only Sugawara which recommends addition. For easier analysis at a later stage, Bleasdale suggestion are required as the lower limit of the number of stations, ie 4 stations. In total there are 381 new network possibilities that can be made on Kadalpang Sub watershed. The ANN discharge modelling is done using data from 9 rain stations and AWLR for the last 10 years (2007-2016). The ANN architecture used is Multi Layer Perceptron (MLP) using the help of NeuroSolutions 7.1 for Excel application. Data weight composition used is 60-25-15 which means 60% Training, 25% Cross Validation, and 15% Testing. The number of epoch used is 1000 epoch with monthly data base. Networks both with Relative error (KR) using 11.4% and 'Good' NSE are number 197 with Wn-Rp-Ks-Wl-Bk code consisting of Winong, Randupitu, Kasri, Wilo, and Bekacak stations. In this newly selected network, there is a strong correlation between the topography aspect of rainfall, and the relationship between these topographic parameters. The high difference has a good relationship with rainfall ( $R = 0.918$ ), where the higher the elevation of the rain station, the higher the rainfall. In addition, the difference in height and distance also has a very strong relationship ( $R = 0.994$ ), where the greater the elevation of the rain station to AWLR, the general distance will also be further away.

Keywords: Precipitation Stations Network, Artificial Neural Networks, NeuroSolutions, Topography

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penyusun panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul “**Analisa Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan di Sub DAS Kadalpang Kabupaten Pasuruan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan dan Hubungannya Terhadap Aspek Topografi**” ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST). Seperti kata pepatah, *Tiada gading yang tak retak*, penyusun menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan. Andai ditunggu sempurna, tentulah skripsi ini tidak akan pernah selesai. Untuk itu saran maupun kritik yang membangun dari semua pihak sangat diperlukan, khususnya dari kalangan dosen.

Dengan segala kesungguhan dan kerendahan hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Muchaimin dan Ibu Djuma’iyah, orang tua penyusun yang selalu memberikan kasih sayang, do’a, serta motivasi yang tiada henti diberikan kepada penyusun.
2. Bapak Dr. Very Dermawan, ST., MT. dan Bapak Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, dukungan, ide, serta motivasi kepada penyusun.
3. Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST., MT. dan Ibu Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah bersedia hadir dengan segala bentuk masukannya.
4. Teman-teman Teknik Pengairan 2013 yang banyak memberikan semangat serta menjadi rekan diskusi yang baik dalam proses pembelajaran di kampus.
5. Bagus, Nanda, Nevan, serta teman-teman Kerto Rahayu 43 yang selalu memberikan semangat kepada penyusun.
6. Serta, semua pihak yang telah membantu pelaksanaan skripsi ini.

Penyusun berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat dijadikan referensi bagi yang membutuhkan.

Malang, Januari 2018

Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xiii
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Rumusan Masalah.....	3
1.5. Tujuan dan Manfaat .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1. Umum .....	5
2.2. Jaringan Stasiun Hujan .....	6
2.3. Jaringan Stasiun Debit .....	8
2.4. Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan .....	9
2.4.1. Standar WMO ( <i>World Meteorological Organization</i> ) .....	9
2.4.2. Cara Sugawara.....	10
2.4.3. Cara Bleasdale .....	10
2.4.4. Cara Varshney .....	10
2.5. Analisis Hidrologi.....	11
2.5.1. Memperkirakan Data Hujan yang Hilang .....	11
2.5.2. Memperkirakan Data Debit yang Hilang .....	12
2.5.3. Uji Konsistensi Data Hujan .....	14
2.5.4. Uji Konsistensi Data Debit.....	15
2.5.5. Uji Stasioner .....	16
2.5.6. Uji Outlier.....	20
2.5.7. Curah Hujan Rerata Daerah.....	21
2.6. Jaringan Saraf Tiruan.....	24
2.6.1. Pengertian .....	24

2.6.2. Model Neuron .....	25
2.6.3. Arsitektur Jaringan.....	26
2.6.4. Metode Pelatihan .....	28
2.6.5. Fungsi Aktivasi Jaringan Saraf Tiruan .....	29
2.6.6. Parameter Jaringan Saraf Tiruan.....	34
2.7. Model Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	35
2.7.1. Arsitektur Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	36
2.7.2. Algoritma <i>Backpropagation</i> .....	36
2.7.3. Pelatihan Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	38
2.7.4. Pemilihan Bobot Awal .....	38
2.8. Kesalahan Relatif .....	39
2.9. Efisiensi <i>Nash-Sutcliffe</i> .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>41</b>
3.1. Deskripsi Lokasi Studi .....	41
3.1.1. Keadaan Geografi .....	43
3.1.2. Keadaan Geologi.....	44
3.1.3. Keadaan Topografi .....	44
3.1.4. Keadaan Klimatologi .....	44
3.1.5. Keadaan Hidrografi.....	45
3.1.6. Keadaan Demografi .....	45
3.2. Data-data yang Diperlukan.....	46
3.3. Tahapan Penyelesaian Studi.....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>51</b>
4.1. Pengolahan Data.....	51
4.1.1. Uji Konsistensi Data Hujan .....	51
4.1.2. Uji Stasioner Data Hujan .....	55
4.1.3. Uji Outlier Data Hujan.....	57
4.1.4. Uji Konsistensi Data Debit .....	60
4.1.5. Uji Stasioner Data Debit .....	61
4.2. Evaluasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan.....	63
4.2.1. Standar WMO.....	63
4.2.2. Cara Sugawara.....	63
4.2.3. Cara Bleasdale .....	63

4.2.4. Cara Varshney.....	64
4.3. Analisis Pola Penyebaran Jaringan Stasiun Hujan .....	66
4.3.1. Metode Jaringan Saraf Tiruan Secara Utuh .....	66
4.3.2. Metode Jaringan Saraf Tiruan dengan Jumlah Stasiun Hujan Ditentukan.....	67
4.4. Perencanaan Jaringan Stasiun Hujan yang Baru.....	68
4.5. Analisis Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan .....	78
4.5.1. Perancangan Data Pelatihan .....	78
4.5.2. Proses Pelatihan.....	79
4.5.3. Perhitungan Kesalahan Relatif (KR) dan Efisiensi <i>Nash-Sutcliffe</i> (NSE).....	92
4.5.4. Pemilihan Bobot, Jumlah Epoch, dan Jenis Data.....	93
4.5.5. Pengujian Data .....	96
4.5.5.1. Pengujian 8 Stasiun .....	98
4.5.5.2. Pengujian 7 Stasiun .....	99
4.5.5.3. Pengujian 6 Stasiun .....	100
4.5.5.4. Pengujian 5 Stasiun .....	103
4.5.5.5. Pengujian 4 Stasiun .....	106
4.5.5.6. Rekapitulasi Pengujian .....	109
4.6. Hubungan Jaringan Stasiun Hujan Terpilih terhadap Aspek Topografi .....	111
4.6.1. Hubungan Aspek Topografi terhadap Curah Hujan .....	112
4.6.2. Hubungan antar Aspek Topografi.....	115
4.6.3. Verifikasi Ketelitian Jaringan Stasiun Hujan Terpilih.....	121
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>123</b>
5.1. Kesimpulan .....	123
5.2. Saran .....	124

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
	Tabel 2.1. Kerapatan Jaringan Rekomendasi WMO .....	9
	Tabel 2.2. Jumlah stasiun hujan optimal berdasarkan luas DAS (Bleasdale) .....	10
	Tabel 2.3. Nilai Kritis $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$ .....	16
	Tabel 2.4. Nilai Kritis Fc Distribusi F ( $\alpha = 0,05$ dan $0,01$ ) .....	17
	Tabel 2.5. Nilai Kritis tc untuk Distribusi-t Uji Dua Sisi .....	20
	Tabel 2.6. Harga Kn untuk Uji <i>Outlier</i> .....	21
	Tabel 2.7. Kriteria Nilai <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i> (NSE) .....	40
	Tabel 3.1. DAS di Kabupaten Pasuruan .....	42
	Tabel 3.2. Stasiun Hujan di Sub DAS Kadalpang .....	43
	Tabel 3.3. Tahapan Penyelesaian Studi .....	47
	Tabel 4.1. Data Curah Hujan Tahunan Sub DAS Kadalpang .....	51
	Tabel 4.2. Daftar Penggunaan Stasiun Pembanding .....	52
	Tabel 4.3. Jarak Antar Stasiun (dalam Km) .....	52
	Tabel 4.4. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Prigen – Bagian 1 .....	52
	Tabel 4.5. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Prigen – Bagian 2 .....	53
	Tabel 4.6. Data Hujan Stasiun Prigen Setelah Dikoreksi .....	54
	Tabel 4.7. Data Curah Hujan Tahunan Setelah Dikoreksi .....	55
	Tabel 4.8. Data Hujan Stasiun Jawi Kelompok I .....	55
	Tabel 4.9. Data Hujan Stasiun Jawi Kelompok II .....	55
	Tabel 4.10. Rekapitulasi Perhitungan Uji-F .....	56
	Tabel 4.11. Rekapitulasi Perhitungan Uji-T .....	57
	Tabel 4.12. Data Hujan Bulanan Stasiun Prigen Terurut Waktu .....	58
	Tabel 4.13. Data Hujan Bulanan Stasiun Prigen Terurut Nilai .....	58
	Tabel 4.14. Data Debit AWLR Kadalpang .....	60
	Tabel 4.15. Perhitungan Uji Konsistensi Data Debit AWLR Kadalpang .....	61
	Tabel 4.16. Data Debit AWLR Kadalpang Kelompok I .....	62
	Tabel 4.17. Data Debit AWLR Kadalpang Kelompok II .....	62
	Tabel 4.18. Kerapatan Jaringan dengan Standar WMO .....	63
	Tabel 4.19. Jumlah Kombinasi dengan Metode JST Secara Utuh .....	66
	Tabel 4.20. Jumlah Kombinasi dengan Metode Lain .....	67
	Tabel 4.21. Jumlah Kombinasi Jaringan .....	68

No.	Judul	Halaman
	Tabel 4.22. Daftar Kombinasi 8 Stasiun (9 Kombinasi)	68
	Tabel 4.23. Daftar Kombinasi 7 Stasiun (36 Kombinasi)	69
	Tabel 4.24. Daftar Kombinasi 6 Stasiun (84 Kombinasi)	70
	Tabel 4.25. Daftar Kombinasi 5 Stasiun (126 Kombinasi)	72
	Tabel 4.26. Daftar Kombinasi 4 Stasiun (126 Kombinasi)	75
	Tabel 4.27. Format Pemodelan	78
	Tabel 4.28. <i>Best Networks</i>	86
	Tabel 4.29. Parameter Kesalahan Pemodelan ( <i>Training</i> )	87
	Tabel 4.30. Parameter Kesalahan Pemodelan ( <i>Cross Validation</i> )	89
	Tabel 4.31. Parameter Kesalahan Pemodelan ( <i>Testing</i> )	90
	Tabel 4.32. Perhitungan Kesalahan Relatif	92
	Tabel 4.33. Perhitungan Efisiensi <i>Nash-Sutcliffe</i>	93
	Tabel 4.34. Perbandingan Nilai KR (Variasi Pemilihan Bobot dan <i>Epoch</i> )	94
	Tabel 4.35. Perbandingan Nilai KR Akibat Variasi Jenis Data	95
	Tabel 4.36. Variabel Masukan dan Keluaran dalam JST	96
	Tabel 4.37. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 8 Stasiun	98
	Tabel 4.38. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 7 Stasiun	99
	Tabel 4.39. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 6 Stasiun	100
	Tabel 4.40. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 5 Stasiun	103
	Tabel 4.41. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 4 Stasiun	106
	Tabel 4.42. Rekapitulasi Kombinasi Terbaik Seluruh Pengujian	109
	Tabel 4.43. Kerapatan Jaringan Stasiun Terpilih	110
	Tabel 4.44. Rerata Hujan Tahunan Stasiun Hujan Terpilih	111
	Tabel 4.45. Parameter Topografi Stasiun Hujan Terpilih	112
	Tabel 4.46. Rekapitulasi koefisien korelasi antara Hujan terhadap Aspek Topografi	114
	Tabel 4.47. Rekapitulasi koefisien korelasi antara <i>Slope</i> terhadap Jarak	120
	Tabel 4.48. Rekapitulasi koefisien korelasi antara Beda Tinggi terhadap Jarak	120
	Tabel 4.49. Rekapitulasi Persamaan Regresi Kombinasi Lain	122

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1. Analisis kurva massa ganda.....	15
	Gambar 2.2. Poligon Thiessen.....	22
	Gambar 2.3. Isohyet.....	23
	Gambar 2.4. Jaringan saraf dengan lapisan tunggal.....	27
	Gambar 2.5. Jaringan saraf dengan lapisan banyak.....	27
	Gambar 2.6. Jaringan saraf dengan lapisan kompetitif.....	28
	Gambar 2.7. Fungsi undak biner <i>hard limit</i> .....	30
	Gambar 2.8. Fungsi undak biner <i>threshold</i> .....	30
	Gambar 2.9. Fungsi undak bipolar <i>symetric hard limit</i> .....	30
	Gambar 2.10. Fungsi bipolar dengan <i>threshold</i> .....	31
	Gambar 2.11. Fungsi linear (identitas).....	31
	Gambar 2.12. Fungsi <i>saturating linear</i> .....	32
	Gambar 2.13. Fungsi <i>symetric saturating linear</i> .....	32
	Gambar 2.14. Fungsi sigmoid biner.....	33
	Gambar 2.15. Fungsi sigmoid bipolar.....	34
	Gambar 2.16. Jaringan saraf <i>backpropagation</i> dengan satu lapisan tersembunyi.....	36
	Gambar 3.1. Peta administrasi Kabupaten Pasuruan.....	41
	Gambar 3.2. Peta Sub DAS Kadalpang.....	42
	Gambar 3.3. Peta stasiun hujan Sub DAS Kadalpang.....	43
	Gambar 3.4. Diagram alir penggerjaan studi.....	48
	Gambar 3.5. Diagram alir penggerjaan JST dengan <i>NeuroSolutions for Excel</i> .....	49
	Gambar 4.1. Grafik uji konsistensi data hujan Stasiun Prigen.....	53
	Gambar 4.2. Grafik uji konsistensi data hujan Stasiun Prigen setelah dikoreksi.....	54
	Gambar 4.3. Hubungan luas DAS terhadap jumlah stasiun cara Bleasdale.....	64
	Gambar 4.4. Susunan data pelatihan JST.....	79
	Gambar 4.5. <i>Tag Data Input</i> .....	79
	Gambar 4.6. <i>Tag Data Desired</i> .....	80
	Gambar 4.7. <i>Tag Set Data</i> dengan <i>Rows by Percentage</i> .....	80
	Gambar 4.8. Pemilihan bobot data.....	81
	Gambar 4.9. <i>Tag Data Production</i> .....	81
	Gambar 4.10. Penyusunan data <i>Production</i> .....	82

No.	Judul	Halaman
	Gambar 4.11. Pemilihan arsitektur jaringan.....	82
	Gambar 4.12. Notifikasi program ( <i>evaluation</i> ).....	83
	Gambar 4.13. Penyimpanan file jaringan.....	83
	Gambar 4.14. Lokasi penyimpanan file jaringan.....	84
	Gambar 4.15. Notifikasi program ( <i>weight</i> ).....	84
	Gambar 4.16. <i>Train Network</i> .....	84
	Gambar 4.17. Kotak dialog <i>Train Network</i> .....	85
	Gambar 4.18. <i>Train network</i> sedang berlangsung.....	85
	Gambar 4.19. Grafik <i>MSE versus Epoch</i> .....	85
	Gambar 4.20. <i>Test network (Training)</i> .....	86
	Gambar 4.21. Grafik <i>Desired Output and Actual Network Output (Training)</i> .....	87
	Gambar 4.22. Grafik <i>Output vs. Desired (Training)</i> .....	87
	Gambar 4.23. <i>Test Network (Cross Validation)</i> .....	88
	Gambar 4.24. Grafik <i>Desired Output and Actual Network Output (Cross Validate)</i> .....	88
	Gambar 4.25. Grafik <i>Output vs. Desired (Cross Validation)</i> .....	88
	Gambar 4.26. <i>Test Network (Testing)</i> .....	89
	Gambar 4.27. Grafik <i>Desired Output and Actual Network Output (Testing)</i> .....	89
	Gambar 4.28. Grafik <i>Output vs. Desired (Testing)</i> .....	90
	Gambar 4.29. <i>Apply New Data</i> .....	91
	Gambar 4.30. Data debit pemodelan.....	91
	Gambar 4.31. Peta Poligon Thiessen stasiun hujan terpilih.....	110
	Gambar 4.32. Peta skema jarak stasiun ke AWLR.....	111
	Gambar 4.33. Grafik hubungan curah hujan terhadap elevasi.....	112
	Gambar 4.34. Grafik hubungan curah hujan terhadap beda tinggi.....	113
	Gambar 4.35. Grafik hubungan curah hujan terhadap jarak.....	113
	Gambar 4.36. Grafik hubungan curah hujan terhadap <i>slope</i> .....	114
	Gambar 4.37. Grafik hubungan <i>slope</i> terhadap jarak (regresi linier).....	115
	Gambar 4.38. Grafik hubungan <i>slope</i> terhadap jarak (regresi polinomial).....	116
	Gambar 4.39. Grafik hubungan <i>slope</i> terhadap jarak (regresi logaritmis).....	116
	Gambar 4.40. Grafik hubungan <i>slope</i> terhadap jarak (regresi berpangkat).....	117
	Gambar 4.41. Grafik hubungan <i>slope</i> terhadap jarak (regresi eksponensial).....	117
	Gambar 4.42. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi linier).....	128
	Gambar 4.43. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi polinomial).....	128

No.	Judul	Halaman
	Gambar 4.44. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi logaritmis).....	119
	Gambar 4.45. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi berpangkat).....	119
	Gambar 4.46. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi eksponensial)....	120
	Gambar 4.47. Grafik regresi Winong – Wilo – Prigen – Bekacak.....	121
	Gambar 4.48. Grafik regresi Winong – Tanggul – Kasri – Wilo – Bekacak.....	122
	Gambar 4.49. Grafik regresi Randupitu – Jawi – Kasri – Wilo – Prigen – Bekacak...	122



## **DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
	Lampiran 1. Data Hujan dan Debit .....	125
	Lampiran 2. Korelasi Data Hujan dan Debit.....	129
	Lampiran 3. Peta (Ukuran Penuh).....	130
	Lampiran 4. Uji Konsistensi .....	135
	Lampiran 5. Dokumentasi Survei .....	141

## DAFTAR SIMBOL

<b>Besaran dasar</b>	<b>Satuan dan Singkatannya</b>	<b>Simbol</b>
Hujan	Milimeter atau mm	P
Debit	Meter kubik perdetik atau $m^3/dt$	Q
Luas	Kilometer persegi atau $Km^2$	A
Deviasi standar	-	S
Varian	-	$S^2$
Koefisien variasi	-	Cv
Jarak antar stasiun	Kilometer atau Km	$P_x$
Koefisien arah regresi	-	a
Koefisien titik potong regresi	-	b
Koefisien determinasi regresi	-	$R^2$
Nilai Uji F	-	F
Nilai Uji T	-	t
Derajat signifikansi	-	$\alpha$
Variabel persamaan matematika	-	y
Variabel <i>input i = 1,2, ..., n</i>	-	$x_i$
Fungsi x	-	$f(x)$
Turunan fungsi x	-	$f'(x)$
Nilai keluaran di unit tersembunyi	-	$z_j$
Nilai <i>output layer</i>	-	$y_k$
Nilai <i>output target</i>	-	$t_k$
Perkalian dari <i>output layer</i> dan bobotnya ke <i>output</i> debit	-	$y_{net\ k}$
Persamaan fungsi aktivasi pada <i>output layer</i> (perkalian dari <i>output layer</i> dan bobotnya ke <i>output</i> debit)	-	$f(y_{netk})$
Turunan fungsi variabel <i>output layer</i> ke unit <i>output</i> debit	-	$f'(y_k)$
Waktu pengamatan $t = 1,2, \dots, n$	-	t
Bobot bias	-	b
Nilai keluaran di unit tersembunyi	-	$z_j$
Nilai <i>output layer</i>	-	$y_k$
Perkalian dari <i>output layer</i> dan bobotnya ke <i>output</i> debit	-	$y_{net\ k}$
Turunan fungsi variabel <i>output layer</i> ke unit <i>output</i> debit	-	$f'(y_k)$
Waktu pengamatan $t = 1,2, \dots, n$	-	t
Informasi error pada lapisan tersembunyi	-	$\delta_j$
Informasi error pada lapisan <i>output</i>	-	$\delta_k$
Informasi error pada lapisan <i>output</i> debit	-	$\delta_t$
Banyaknya pengamatan	-	n
Bobot lapisan input ke lapisan tersembunyi	-	$v_{ji}$
Bobot lapisan bias ke lapisan tersembunyi	-	$v_{0j}$

<b>Besaran dasar</b>	<b>Satuan dan Singkatannya</b>	<b>Simbol</b>
Bobot lapisan input ke lapisan tersembunyi pada t-1	-	$v_{ji}(t-1)$
Bobot lapisan input ke lapisan tersembunyi t+1	-	$v_{ji}(t+1)$
Laju percepatan ( <i>learning rate</i> )	-	$\alpha$
Bobot penghubung lapisan tersembunyi dengan <i>output</i> jaringan	-	$w_{kj}$
Bobot penghubung lapisan tersembunyi dengan <i>output</i> debit	-	$w_{tj}$
Bobot bias ke lapisan <i>output</i>	-	$w_{k0}$
Bobot penghubung lapisan tersembunyi-keluaran jaringan pada waktu t - 1	-	$w_{kj}(t-1)$
Bobot penghubung lapisan tersembunyi-keluaran jaringan pada waktu t + 1	-	$w_{kj}(t+1)$
Koreksi bobot pada lapisan <i>input</i> -i ke lapisan tersembunyi-j	-	$\Delta v_{ji}$
Koreksi bobot pada lapisan tersembunyi j	-	$\Delta w_j$
Koreksi bobot pada lapisan tersembunyi j ke lapisan keluaran jaringan	-	$\Delta w_{kj}$
Koreksi bias pada lapisan <i>input</i> -i ke lapisan tersembunyi-j	-	$\Delta b_{ji}$
Faktor skala	-	$\beta$
Nilai pusat pada neuron tersembunyi ke-j	-	$\mu$
Masukan yang berasal dari unit i	-	$a_i$
Kecepatan belajar	-	C
Nilai keluaran yang diinginkan unit j setelah diberikan pola p pada lapisan masukan	-	$t_{jp}$
Nilai keluaran yang dihasilkan unit j setelah diberikan pola p pada lapisan masukan	-	$x_{jp}$
Debit bulanan Pos AWLR Kadapang	Meter kubik perdetik atau $m^3/dt$	$Q_O$
Debit bulanan JST	Meter kubik perdetik atau $m^3/dt$	$Q_M$
Curah hujan bulanan Winong	Milimeter atau mm	$X_{Wn}$
Curah hujan bulanan Bareng	Milimeter atau mm	$X_{Br}$
Curah hujan bulanan Randupitu	Milimeter atau mm	$X_{Rp}$
Curah hujan bulanan Tanggul	Milimeter atau mm	$X_{Tg}$
Curah hujan bulanan Jawi	Milimeter atau mm	$X_{Jw}$
Curah hujan bulanan Kasri	Milimeter atau mm	$X_{Ks}$
Curah hujan bulanan Wilo	Milimeter atau mm	$X_{Wl}$
Curah hujan bulanan Prigen	Milimeter atau mm	$X_{Pr}$
Curah hujan bulanan Bekacak	Milimeter atau mm	$X_{Bk}$
Kesalahan Relatif	%	KR
Efisiensi <i>Nash-Sutcliffe</i>	-	NSE

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Air merupakan sumber kehidupan manusia. Tumbuhan, hewan, dan makhluk hidup lainnya tidak terlepas dari ketergantungannya terhadap air. Dari seluruh air yang ada di bumi, hanya 1% di antaranya berupa air bersih tawar yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup sehari-hari. 97% sisanya merupakan air laut, sedangkan 2% lainnya berada dalam bentuk es. Volume air di bumi ini tetap, namun wujudnya berubah-ubah dalam suatu siklus hidrologi.

Hujan merupakan fenomena alam yang memberikan pengaruh besar bagi kehidupan di alam semesta ini. Tuhan berfirman di dalam Al-Qur'an, "*Dan Allah menurunkan dari langit air (hujan) dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi sesudah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang mendengarkan (pelajaran).*" (QS. An-Nahl : 65)

Uraian tersebut merupakan petunjuk bagi manusia bahwa turunnya air hujan di bumi ini adalah sebuah ketetapan yang sudah diatur oleh Sang Pencipta. Sebagai manusia yang beriman, kita diwajibkan untuk mempelajari ilmu pengetahuan, terlebih fenomena alam yang berperan penting bagi kehidupan manusia, seperti hujan.

Dalam analisis perencanaan dan pengembangan sumberdaya air, data hujan merupakan masukan utama yang selalu dibutuhkan keberadaannya. Adanya kesalahan dalam pengukuran data hujan akan mengakibatkan analisis menjadi tidak efektif dan tidak sesuai dengan target yang diharapkan. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka pengukuran data hujan harus selalu dikaji agar kualitas datanya terjaga.

Jaringan stasiun hujan berfungsi sebagai sebuah sistem yang terorganisir untuk mengumpulkan data hujan yang akan digunakan dalam berbagai keperluan. Agar jaringan stasiun hujan dapat memperoleh besaran data hujan di semua titik pengamatan dengan ketelitian yang cukup, hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai stasiun hujan adalah (Harto, 1993:20):

1. Kerapatan optimum mengandung arti jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di seluruh Daerah Aliran Sungai (DAS).

2. Kerapatan hendaknya tidak terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan yang mahal.
3. Penyebaran stasiun hujan mampu menggambarkan variabilitas ruang DAS yang teramatidengan baik.

Permasalahan yang umum terjadi dalam praktik di lapangan adalah ketersediaan sarana prasana serta pagu anggaran yang terbatas untuk kegiatan Operasi dan Pemeliharaan. Akibatnya, kualitas data akan menurun, bahkan kesinambungan data yang dihasilkan pun juga terancam. Stasiun hujan yang terlalu sedikit mengakibatkan data yang dihasilkan kurang mampu menggambarkan karakteristik hidrologi DAS, sedangkan stasiun yang terlalu banyak merupakan bentuk pemborosan dana. Oleh karena itu, diperlukan sebuah kajian untuk menentukan jumlah ideal serta penyebaran stasiun hujan yang efektif dalam suatu DAS.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Sub DAS Kadalpang merupakan bagian hulu dari DAS Kedunglarangan yang merupakan salah satu DAS besar di Kabupaten Pasuruan. Sebagai kabupaten yang memiliki basis industri dan pariwisata serta memiliki tingkat perekonomian yang cukup tinggi, maka nilai ekonomi data menjadi tinggi dan sangat berharga. Akibatnya, ketelitian data menjadi tuntutan dalam setiap perencanaan bangunan air agar sesuai dengan harapan. Informasi tentang sumber daya air dalam bentuk kondisi hidrologi dan hidrometeorologi sangat dibutuhkan untuk mendukung pengelolaan sumber daya air di Sub DAS Kadalpang.

Tidak jauh berbeda dengan DAS lain pada umumnya, Sub DAS Kadalpang juga menyimpan segudang permasalahan yang harus ditangani dengan segera. Warga yang membuang sampah di sungai, alih guna lahan secara berlebihan, serta eksplorasi air tanah oleh beberapa perusahaan air minum dalam jumlah yang besar mengakibatkan bencana alam yang sangat merugikan masyarakat seperti banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Selain kuantitas, aspek kualitas juga tergolong mengkhawatirkan. Berdasarkan surat kabar *online* Surya Malang pada tanggal 18 September 2015, Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Pasuruan (DLH) Muchaimin menyampaikan bahwa pihaknya memberikan teguran pada 9 perusahaan yang mencemari sungai dengan membuang limbah ke Sungai Wangi, Beji. Selain itu, Muchaimin juga mengatakan bahwa pencemaran sungai juga terjadi di Sungai Jogonalan, Pandaan.

Dalam hal ini, data hujan dan data debit yang berperan sebagai masukan utama memegang peranan yang vital dalam pengelolaan sumber daya air seperti pengendalian

banjir, pemenuhan kebutuhan air saat kekeringan, dan sebagainya. Untuk itu, analisis ini bertujuan mengetahui apakah jumlah stasiun hujan yang ada saat ini dapat mewakili kondisi wilayah lokasi studi sehingga dapat mengoptimalkan kualitas data, jumlah stasiun hujan, agar dijadikan pertimbangan pengambilan keputusan bagi instansi guna efisiensi biaya, tenaga, dan waktu. Hingga pada akhirnya diketahui stasiun hujan mana yang bersifat dominan dan representatif pada Sub DAS Kadapang.

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar pembahasan masalah tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Daerah studi terletak pada Sub DAS Kadapang Kabupaten Pasuruan.
2. Jumlah stasiun hujan yang digunakan untuk analisis adalah 9 buah.
3. Tidak membahas analisa curah hujan rancangan.
4. Uji model yang digunakan berbasis pada teknologi jaringan saraf tiruan *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan bantuan *software NeuroSolution 7.1 for Excel*.
5. Parameter jaringan stasiun hujan yang dikaji adalah jumlah stasiun hujan dan penyebarannya. Sedangkan analisa aspek topografi mencakup jarak stasiun hujan dan perbedaan elevasi stasiun hujan yang kemudian menjadi kemiringan antar stasiun hujan.

### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah yang ada, maka diperoleh rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi persebaran jaringan stasiun hujan yang ada saat ini?
2. Bagaimana jaringan stasiun hujan di Sub DAS Kadapang menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan?
3. Bagaimana keandalan Jaringan Saraf Tiruan dalam melakukan analisis?
4. Bagaimana hubungan antara jaringan stasiun hujan hasil analisis Jaringan Saraf Tiruan terhadap aspek topografi?

### **1.5 Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi persebaran jaringan stasiun hujan yang ada saat ini.
2. Mengetahui jaringan stasiun hujan di Sub DAS Kadapang menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan.

3. Mengetahui keandalan Jaringan Saraf Tiruan dalam melakukan analisis.
4. Mengetahui hubungan persebaran stasiun hujan hasil analisis Jaringan Saraf Tiruan terhadap aspek topografi.

Manfaat studi ini berupa masukan kepada instansi terkait mengenai jaringan stasiun hujan yang paling efektif di Sub DAS Kadalpang. Kemudian, adanya kajian hubungan antara aspek topografi sebagai sebuah variabel perhitungan diharapkan menjadi temuan baru yang memberikan kemudahan dalam analisis kerapatan jaringan pos stasiun hujan pada masa yang akan mendatang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Salah satu proses penting dalam suatu rangkaian siklus hidrologi adalah presipitasi. Segala bentuk uap air yang terkondensasi dan jatuh dari atmosfir ke bumi secara umum disebut sebagai presipitasi. Presipitasi dapat turun dalam bentuk cair (hujan dan embun), maupun dalam bentuk padat (salju dan es).

Indonesia merupakan negara yang dilewati garis khatulistiwa dan beriklim tropis, serta hanya memiliki 2 musim dalam setahun, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Bentuk presipitasi yang paling dominan di negara ini adalah hujan. Sehingga, curah hujan ini akan selalu dilibatkan dalam setiap analisis hidrologi. Beberapa jenis hujan menurut proses terjadinya adalah (Faisal, 2009:267):

1. Hujan siklonal yaitu hujan yang terjadi karena udara panas yang naik disertai dengan angin yang berputar.
2. Hujan zenithal yaitu hujan sering terjadi di daerah sekitar ekuator, akibat pertemuan Angin Pasat Timur Laut dengan Angin Pasat Tenggara. Kemudian angin tersebut naik dan membentuk gumpalan-gumpalan awan di sekitar ekuator yang berakibat awan menjadi jenuh dan turunlah hujan. Hujan ini terjadi pada waktu sore hari setelah terjadi pemanasan maksimal (pukul 14.00 – 15.00) dan pada daerah tropis antara  $10^{\circ}$  LU -  $10^{\circ}$  LS.
3. Hujan orografis atau hujan pegunungan terjadi di daerah pegunungan karena udara yang mengandung uap air bergerak naik ke atas pegunungan. Akibat adanya penurunan suhu, udara tersebut terkondensasi dan turunlah hujan pada lereng yang berhadapan dengan arah datangnya angin.
4. Hujan frontal yaitu hujan yang terjadi apabila massa udara yang dingin bertemu dengan massa udara yang panas. Tempat pertemuan antara kedua massa itu disebut bidang front. Karena lebih berat, maka massa udara dingin berada di bawah. Di sekitar bidang front inilah sering terjadi hujan lebat yang disebut hujan frontal
5. Hujan muson atau hujan musiman yaitu hujan yang terjadi karena angin musim (angin muson). Penyebab terjadinya angin muson adalah karena adanya semu tahunan matahari antara garis balik utara dan garis balik selatan. Di Indonesia, hujan muson terjadi bulan Oktober sampai April. Sementara di kawasan Asia

Timur terjadi bulan Mei sampai Agustus. Siklon muson inilah yang menyebabkan adanya musim penghujan dan musim kemarau.

Curah hujan dapat dialihragamkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface run-off*), aliran antara (*interflow, sub surface flow*), serta sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*). 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 teramatid sehingga memberikan informasi yang cermat (Harto, 1990:56).

## 2.2. Jaringan Stasiun Hujan

Jaringan dalam pengertian ini adalah satu sistem yang terorganisasi untuk mengumpulkan data hidrologi secara optimum untuk berbagai kepentingan. Unsur yang hendak dicapai dalam suatu jaringan stasiun adalah kerapatan jaringan yang optimum serta perolehan informasi yang maksimum, sehingga dari hasil pengukuran satu set stasiun dapat diperoleh besaran variabel hidrologi di semua titik dengan ketelitian yang cukup.

Menurut Sri Harto (1990:24), aspek perencanaan jaringan yang dipandang terbaik adalah yang didasarkan pada analisis ekonomi yang berkaitan dengan pengembangan fisik jaringan maupun nilai ekonomi dari kecermatan data/informasi yang didapat. Namun, pada kenyataannya pengembangan seperti ini menyangkut perhitungan yang sangat rumit (bahkan bisa dikatakan tidak mungkin). Oleh sebab itu, perencanaan jaringan dapat dianjurkan didasarkan atas perkiraan ketelitian yang dikehendaki. Akan tetapi, perlu diingat bahwa patokan ketelitian pada umumnya tidak akan terlepas dari nilai ekonomi data, karena sangat berperan dalam pertimbangan perencanaan jaringan.

Satu set stasiun hujan dapat disebut sebagai jaringan (*network*) apabila terdapat keterikatan (*coherence*) observasi dalam tingkat tertentu dari kejadian-kejadian atau fenomena yang diukur. Keterikatan tersebut tentu akan meningkat sejalan dengan meningkatnya kerapatan jaringan. Setiap stasiun memiliki daerah pengaruh (*sphere of influence*) yang mana kejadian-kejadian di dalamnya menunjukkan korelasi atau keterikatan dengan hasil pengamatan stasiun.

Apabila kita mengandaikan daerah pengaruh sebuah stasiun sebagai lingkaran, kemudian terdapat dua buah atau lebih stasiun yang mana lingkaran-lingkarannya tidak berpotongan sama sekali (terpisah seluruhnya), maka keadaan stasiun-stasiun yang

demikian tidak dapat disebut sebagai jaringan. Hal ini disebabkan hasil pengukuran masing-masing stasiun tidak memiliki keterikatan atau korelasi satu sama lain.

Berdasarkan pengertian tersebut, maka kita dapatkan dua pengertian pokok sebagai berikut (Made, 1987 dalam Harto, 1990:25):

- a. Satu set stasiun terpisah (*isolated station*) yang hanya dapat memberikan informasi di sekitar stasiun tersebut
- b. Jaringan stasiun pengukuran/pengamatan yang dapat memberikan informasi di seberang tempat dalam daerah yang dimaksudkan

Selanjutnya, perkembangan perencanaan jaringan dapat melalui beberapa tahapan sebagai berikut (Made, 1987 dalam Harto, 1990:26):

#### *1. Isolated station phase*

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

#### *2. Network phase 1*

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

#### *3. Network phase 2 atau consolidation phase*

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

#### *4. Network phase 3 atau reduction phase*

Pada tahap ini mulai disadari bahwa informasi yang berlebihan hanya akan mempertinggi biaya. Oleh sebab itu, tingkat keterikatan perlu ditetapkan untuk dapat mengurangi stasiun-stasiun yang kurang berfungsi.

Pada akhirnya, dapat disimpulkan bahwa jaringan mempunyai fungsi yang sangat penting untuk mengurangi variabilitas besaran kejadian, atau mengurangi ketidakpastian dan peningkatan pemahaman terhadap besaran yang terukur maupun hasil interpolasi (Made, 1987 dalam Harto, 1990:26). Bentuk-bentuk variabilitas diwujudkan dalam parameter *Standard Deviation* (SD), *Standard Error of Estimate* (SE), maupun *Standard Error of Measurement* (SEM).

Dalam proses pengembangan jaringan, perlu diperhatikan bahwa tingkat keterikatan antar stasiun merupakan dasar perencanaan jaringan. Hubungan dan keterikatan tersebut hanya dapat diuji apabila terdapat data hasil pengukuran. Oleh sebab itu, dengan mengandaikan bahwa jaringan yang dimaksudkan belum pernah ada dalam daerah yang

ditinjau, maka perencanaan harus dimulai dengan satu jaringan sembarang (*pilot network*) yang dipasang dengan tingkat kewajaran (*common sense*) yang ada, baik jumlah maupun penempatannya (Harto, 1990:27).

### **2.3. Jaringan Stasiun Debit**

Stasiun hidrometri (pengukuran sungai) merupakan jenis jaringan lain yang perlu mendapatkan perhatian. Sama halnya dengan jaringan stasiun pengukur hujan, pada awalnya jaringan stasiun hidrometri ini tidak direncanakan secara konseptual (belum benar-benar dikembangkan secara teoritik), namun didasarkan pada kepentingan-kepentingan tertentu.

Menurut Made (1987) dalam Sri Harto (1990:44), data air permukaan dapat berarti data tentang tinggi muka air, debit, dan limpasan, yang masing-masing mempunyai kaitan kepentingan berbeda. Misalnya tinggi muka air digunakan untuk kepentingan pelayaran, pengendalian banjir, reservoir, dan pengendalian muka air rawa atau '*reclaimed area*'. Data pengukuran debit digunakan untuk kepentingan pengelolaan air serta penyediaan air, sedangkan kecepatan aliran dapat dipakai untuk keperluan bangunan hidraulik.

Pertimbangan-pertimbangan yang digunakan dalam penempatan stasiun hidrometri adalah sebagai berikut (Harto, 1990:45):

1. Secara umum
  - a. Pada tempat terjadinya perubahan drastis landai sungai.
  - b. Pada tempat-tempat pertemuan sungai.
  - c. Pada tempat-tempat pengambilan air.
  - d. Pada tempat masuknya air dari danau.
  - e. Pada tempat yang akan dikembangkan di kemudian hari atau tempat yang dipandang terbaik sebagai lokasi stasiun hidrometri primer.
2. Secara khusus
  - a. Pada bagian sungai yang lurus.
  - b. Pada tempat dengan arus air sejajar.
  - c. Pada tempat dengan penampang sungai stabil.
  - d. Bebas dari pengaruh *backwater*.
  - e. Pada bagian sungai yang cukup peka.
  - f. Dapat didatangi setiap saat.

## 2.4. Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan

Kerapatan jaringan dapat diartikan sebagai luasan daerah yang diwakili oleh setiap stasiun hujan. Kerapatan jaringan didasarkan pada aspek teknis dan ekonomi di wilayah yang bersangkutan, agar tercapai kerapatan jaringan yang optimum sesuai dengan nilai sosial ekonomi data atau tingkat ketelitian yang dibutuhkan. Setiap jaringan stasiun hujan yang sudah ada perlu dikaji kembali secara rutin setiap beberapa tahun pengoperasian untuk meningkatkan kualitasnya.

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

1. Penempatan stasiun hujan yang terbagi merata dengan pola tertentu akan menghasilkan perkiraan hujan yang lebih baik dibandingkan dengan penempatan stasiun hujan secara rambang.
2. 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.

### 2.4.1. Standar WMO (*World Meteorological Organization*)

Badan Meteorologi Dunia (WMO) menyarankan kerapatan jaringan sebagai berikut:

Tabel 2.1. Kerapatan Jaringan Rekomendasi WMO

No.	Tipe	Luas Daerah (Km <sup>2</sup> ) per stasiun hujan	
		Kondisi Normal	Kondisi Sulit
1	Daerah dataran tropis mediteran dan sedang	1.000 – 2500 (600 – 900)	3.000 – 9.000
2	Daerah pegunungan tropis mediteran dan sedang	300 – 1.000 (100 – 250)	1.000 – 5.000
3	Daerah kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	140 – 300 (25)	-
4	Daerah arid (kering) dan kutub	5.000 – 20..000 (1.500 – 10.000)	-

Sumber: Linsley (1986:67)

#### **2.4.2. Cara Sugawara**

Menurut Sugawara (Harto, 1993:28), suatu DAS pada daerah tropis dengan luasan lebih kecil dari 100 Km<sup>2</sup> maupun lebih besar dari 100 Km<sup>2</sup>, pemakaian 10 buah stasiun hujan dipandang sudah mencukupi. Sugawara juga menyarankan untuk keperluan analisis hidrologi di daerah tropis, penggunaan 15 stasiun hujan dalam suatu DAS sudah mencukupi tanpa perlu memperhatikan luasannya.

#### **2.4.3. Cara Bleasdale**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bleasdale (Wilson, 1974:16), jumlah stasiun penakar hujan minimal yang digunakan dipengaruhi oleh luas DAS. Semakin luas DAS yang ditinjau, semakin rendah kerapatan jaringan stasiun penakar hujan yang diperlukan. Hubungan antara jumlah stasiun hujan yang optimal terhadap luas DAS yang ditinjau disajikan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Jumlah stasiun hujan optimal berdasarkan luas DAS (Bleasdale)

Luas DAS (Km <sup>2</sup> )	Jumlah stasiun Optimal	Kerapatan (Km <sup>2</sup> /stasiun)
26	2	13
260	6	43,3
1300	12	108,3
2600	15	173,3
5200	20	260
7800	24	325

Sumber : Wilson (1974:16)

Bagaimanapun juga, penelitian yang dilakukan di atas sangat dipengaruhi oleh sifat hujan maupun DAS yang ditinjau, sehingga tidak serta merta dapat digunakan sebagai pedoman pada DAS lain dalam penentuan jumlah atau kerapatan stasiun hujan yang akan digunakan untuk analisis hidrologi selanjutnya. Mengingat adanya variabilitas karakteristik serta sifat hujan yang berbeda pada setiap DAS, maka hasil penelitian yang sudah dilakukan cukup kita jadikan sebagai bahan pertimbangan.

#### **2.4.4. Cara Varshney**

Cara yang dikemukakan oleh Varshney juga menggunakan pendekatan statistik dalam menentukan jumlah stasiun hujan yang optimal. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Hitung jumlah curah hujan total ( P<sub>t</sub> )

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (2-1)$$

dimana :

$P_1$  = curah hujan di stasiun 1

$P_2$  = curah hujan di stasiun 2

$P_n$  = curah hujan di stasiun n

$P_t$  = jumlah hujan total

2. Hitung hujan rerata DAS (  $P_m$  )

$$P_m = \frac{P_t}{n} \quad (2-2)$$

3. Hitung jumlah kuadrat curah hujan semua stasiun (  $S_s$  )

$$S_s = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \dots + P_n^2 \quad (2-3)$$

4. Hitung varian (  $S^2$  )

$$S^2 = \left( \sqrt{\frac{S_s}{n-1}} \right) - P_m \quad (2-4)$$

5. Hitung koefisien variasi (  $Cv$  )

$$Cv = \left( \sqrt{\frac{S^2}{P_m}} \right) \times 100\% \quad (2-5)$$

6. Hitung jumlah stasiun penakar hujan optimal (N) dengan prosentase kesalahan yang dikehendaki sebesar P.

$$N = \left[ \frac{Cv}{P} \right]^2 \quad (2-6)$$

7. Stasiun penakar hujan yang harus dipasang lagi adalah sebesar  $N - n$ , dimana n merupakan stasiun penakar hujan yang telah ada.

Penelitian di atas hanya menyinggung tentang penetapan kerapatan jaringan stasiun hujan yang dibutuhkan, sedangkan pola penyebarannya belum dijelaskan.

## 2.5. Analisis Hidrologi

### 2.5.1. Memperkirakan Data Hujan yang Hilang

Salah satu kendala yang sering dialami di lapangan adalah tidak lengkapnya ketersediaan data. Kehilangan data ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, misalkan alat rusak, kelalaian petugas dalam mencatat, serta alasan lainnya. Pada kondisi demikian, kita akan dihadapkan pada dua pilihan, yaitu membiarkan data tersebut hilang begitu saja, atau memperkirakan nilai data tersebut karena data tersebut sangat diperlukan.

Ada dua cara yang saat ini umum digunakan untuk memperkirakan data hilang, yaitu (Harto, 1990:69):

### 1. Normal Ratio Method

Persamaan yang digunakan adalah:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[ \frac{N_X \cdot P_A}{N_A} + \frac{N_X \cdot P_B}{N_B} + \dots + \frac{N_X \cdot P_n}{N_n} \right] \quad (2-7)$$

dimana:

- $P_x$  = hujan pada stasiun X yang diperkirakan
- $N_x$  = hujan normal tahunan di stasiun X
- $N_A$  = hujan normal tahunan di stasiun A
- $P_A$  = hujan di stasiun A yang diketahui
- $n$  = jumlah stasiun referensi

Cara ini hanya boleh digunakan apabila variasi ruang hujan tidak terlalu besar. Hujan normal yang dimaksud adalah rerata hujan dengan jangka pengukuran 15-20 tahun. Namun, mengingat hal ini sulit didapatkan, maka kita bisa menggantikannya dengan data hujan dengan jangka terpanjang yang tersedia. Jumlah stasiun acuan yang disarankan tidak kurang dari tiga buah.

### 2. Reciprocal Method (Inversed Square Distance)

Metode lain yang dianggap lebih baik yaitu *Reciprocal Method*, karena metode ini mengakomodir pengaruh jarak antar stasiun hujan. Dengan adanya faktor bobot ini, maka diharapkan data hasil perkiraan menjadi lebih akurat. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_x = \frac{\frac{P_A}{d_{xA}^2} + \frac{P_B}{d_{xB}^2} + \dots + \frac{P_n}{d_{xn}^2}}{\frac{1}{d_{xA}^2} + \frac{1}{d_{xB}^2} + \dots + \frac{1}{d_{xn}^2}} \quad (2-8)$$

dimana:

- $P_x$  = hujan pada stasiun X yang diperkirakan
- $P_A$  = hujan di stasiun A yang diketahui
- $d_{xA}$  = jarak antara stasiun X dan stasiun acuan A

Korelasi antara dua stasiun hujan akan menjadi semakin kecil dengan bertambahnya jarak di antara keduanya. Meskipun dianjurkan agar memakai sedikitnya tiga buah stasiun, metode ini dapat digunakan apabila terdapat minimal dua stasiun.

#### 2.5.2. Memperkirakan Data Debit yang Hilang

Kekurangan atau hilangnya data debit adalah salah satu permasalahan hidrologi untuk keperluan analisis statistik. Sebuah metode diperlukan untuk menyelesaikan

permasalahan keterbatasan data ini. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengisi data debit yang hilang (diakibatkan kerusakan alat atau gangguan lainnya) di antaranya adalah metode F. J. Mock, model Tank, NRECA, Rainrun, serta GR2M. Selain itu, meskipun jarang dipakai, metode regresi linier juga dapat diterapkan.

Metode regresi linear dianggap cukup sederhana untuk bisa mengetahui hubungan linear antara data hujan dan data debit yang pernah terjadi sebelumnya. Kemudian, dari hubungan tersebut diperoleh persamaan linear untuk mengestimasi data debit yang hilang.

Menurut Soewarno (1995:140), fenomena hidrologi yang terdiri dari dua variabel berpasangan  $\{(X_i, Y_i); i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , bila dibuat hubungan maka akan dapat membentuk garis kurva linear sederhana dengan dua model persamaan regresi garis lurus sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a_1 X + b_1 \quad (2-9)$$

$$\hat{X} = a_2 Y + b_2 \quad (2-10)$$

dengan:

$\hat{Y}$  = persamaan garis lurus Y atas X

$X$  = persamaan garis lurus X atas Y

$a_1, a_2$  = koefisien regresi merupakan koefisien arah

$b_1, b_2$  = koefisien yang merupakan titik potong dari garis regresi

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, maka besarnya koefisien  $a_1, b_1, a_2$ , dan  $b_2$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-11)$$

$$b_1 = \bar{Y} - a_1 (\bar{X}) \quad (2-12)$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2-13)$$

$$b_2 = \bar{X} - a_2 (\bar{X}) \quad (2-14)$$

dengan:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2-15)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2-16)$$

Besarnya koefisien korelasi, yang menunjukkan derajat hubungan antara variabel  $X_i$  dan  $Y_i$  adalah:

$$R = \sqrt{[(a_1)(a_2)]} \quad (2-17)$$

dan dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-11 hingga 2-14 sebagai persamaan berikut ini:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2][\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (2-18)$$

Nilai koefisien penentu atau koefisien determinasi (*determination coefficient*) yang menunjukkan perbedaan varian dari data pengukuran  $Y_i$  dan varian dari nilai pada garis persamaan regresi untuk nilai  $X_i$  adalah:

$$R^2 = (a_1)(a_2) \quad (2-19)$$

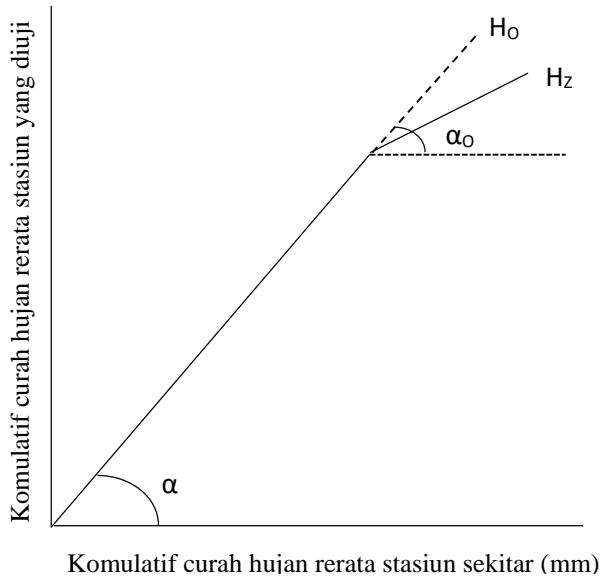
### 2.5.3. Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus benar-benar menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan (Soewarno, 1995:23).

Penyebab-penyebab data hujan tidak konsisten dikarenakan perubahan atau gangguan lingkungan di sekitar tempat penakar hujan tersebut dipasang, misalkan penakar hujan terlindung oleh pohon, berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatan, serta pemindahan letak penakar dan sebagainya. Gangguan-gangguan di atas berpotensi menyebabkan terjadinya perubahan *trend* semula.

Uji konsistensi dapat dilakukan dengan lengkung massa ganda (*double mass curve*) untuk jaringan dengan jumlah stasiun hujan  $\geq 3$  (tiga), sedangkan untuk stasiun individual (*stand alone station*) dapat menggunakan cara RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Pada studi kali ini, uji yang akan digunakan adalah metode lengkung massa ganda.

Uji ini bertujuan untuk mengetahui letak data yang tidak konsisten, yang ditunjukkan oleh penyimpangan garisnya terhadap garis yang lurus. Apabila terjadi penyimpangan, maka koreksi data hujan dari stasiun yang diuji harus dilakukan sesuai dengan kemiringan garisnya. Ilustrasi metode lengkung massa ganda dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1. Analisis kurva massa ganda

Sumber: Harto (1993:46)

$$H_z = F_k \times H_o \quad (2-20)$$

$$F_k = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_o} \quad (2-21)$$

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 setelah ada perubahan

#### 2.5.4. Uji Konsistensi Data Debit

Metode pengujian data debit yang dapat digunakan adalah metode *RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums)*. Secara umum, metode ini dilakukan untuk melihat adanya loncongan (*jump*) nilai rata-rata data (*mean*) pada pengujian statistik. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut (Harto, 2009:39):

1. Data debit diurutkan berdasarkan tahun, kemudian menghitung nilai rerata

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2-22)$$

2. Menghitung nilai  $Sk^*$

$$Sk^* = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \quad (2-23)$$

3. Menghitung nilai  $Dy^2$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})}{n} \quad (2-24)$$

4. Menghitung nilai  $Dy$

$$Dy = \sqrt{Dy^2} \quad (2-25)$$

5. Menghitung nilai  $Sk^{**}$

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \quad (2-26)$$

6. Menghitung nilai  $|Sk^{**}|$

7. Menentukan nilai  $Sk^{**}$  maksimum

8. Menentukan nilai  $Sk^{**}$  minimum

9. Menghitung nilai  $Q$ , kemudian menghitung  $Q/\sqrt{n}$

$$Q = Sk^{**} \text{ maks} \quad (2-27)$$

10. Menghitung nilai  $R$ , kemudian menghitung  $R/\sqrt{n}$

$$R = Sk^{**} \text{ maks} - Sk^{**} \text{ min} \quad (2-28)$$

Hasil perhitungan  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$  dibandingkan dengan nilai  $Q/\sqrt{n}$  kritis dan  $R/\sqrt{n}$  kritis yang didapatkan dari tabel. Apabila nilai  $Q/\sqrt{n}$  hitung dan  $R/\sqrt{n}$  hitung kurang dari  $Q/\sqrt{n}$  kritis dan  $R/\sqrt{n}$  kritis, maka data masih berada dalam batasan konsisten.

Tabel 2.3. Nilai Kritis  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$

n	$Q/\sqrt{n}$			$R/\sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
$\infty$	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber: Harto (2009:41)

### 2.5.5. Uji Stasioner

Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Pengujian ini termasuk uji kesamaan jenis untuk mengetahui homogenitas data (Soewarno, 1995:96). Dengan kata lain, uji stasioner ini bertujuan untuk mengetahui apakah kedua sampel berasal dari populasi yang sama.

## 1. Uji F

Pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan Uji F. Data deret dibagi menjadi dua kelompok atau lebih, setiap dua kelompok diuji menggunakan Uji F. Apabila hasil pengujian ternyata hipotesis nol ditolak, berarti nilai varian tidak stabil atau tidak homogen. Deret berkala yang nilai variannya tidak homogen berarti deret berkala tersebut tidak stasioner, dan tidak perlu melakukan pengujian lanjutan (Soewarno, 1995:96).

Langkah-langkah perhitungan Uji F adalah sebagai berikut:

- Bagi deret data menjadi 2 kelompok (apabila jumlah data ganjil, maka ada 1 kelompok yang memiliki jumlah data 1 buah lebih banyak)
  - Hitung nilai-nilai parametrik kelompok yaitu  $N_i$  (jumlah data keompok), dan  $S_i$  (deviasi standar kelompok)
  - Hitung nilai F dengan rumus:
- $$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 \cdot (N_2-1)}{N_2 \cdot S_2^2 \cdot (N_1-1)} \quad (2-29)$$
- Cari harga  $F_{cr}$  pada tabel distribusi F sesuai dengan:
    - Derajat bebas  $dk_1 = N_1 - 1$  dan  $dk_2 = N_2 - 1$
    - Cari nilai  $\alpha$  (*Level of Significance*) yang diinginkan, misalnya  $\alpha = 5\%$
  - Apabila  $F_{hitung} < F_{cr}$ , maka hipotesa  $H_0$  diterima, sebaliknya  $H_0$  ditolak.

Tabel 2.4. Nilai Kritis Fc Distribusi F ( $\alpha = 0,05$  dan  $0,01$ )

$v_2 = dk_2$ (penyebut)	$v_1 = dk_1$ (pembilang)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	
1	0,05	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	236,8	238,9	240,5	241,9	243	243,9	245,4	246,5	248
	0,01	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6106	6143	6170	6209
2	0,05	18,51	19	19,16	19,25	19,3	19,33	19,35	19,37	19,38	19,4	19,4	19,41	19,42	19,43	19,45
	0,01	98,5	99	99,17	99,25	99,3	99,33	99,36	99,37	99,39	99,4	99,41	99,42	99,43	99,44	99,45
3	0,05	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74	8,71	8,69	8,66
	0,01	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,23	27,13	27,05	26,92	26,83	26,69
4	0,05	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6	5,96	5,94	5,91	5,87	5,84	5,8
	0,01	21,2	18	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,8	14,66	14,55	14,45	14,37	14,25	14,15	14,02
5	0,05	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,7	4,68	4,64	4,6	4,56
	0,01	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16	10,05	9,96	9,89	9,77	9,68	9,55
6	0,05	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,1	4,06	4,03	4	3,96	3,92	3,87
	0,01	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,1	7,98	7,87	7,79	7,72	7,6	7,52	7,4
7	0,05	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,6	3,57	3,53	3,49	3,44
	0,01	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,54	6,47	6,36	6,28	6,16
8	0,05	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,5	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,24	3,2	3,15
	0,01	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,73	5,67	5,56	5,48	5,36
9	0,05	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,1	3,07	3,03	2,99	2,94
	0,01	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,8	5,61	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11	5,01	4,92	4,81

Lanjutan Tabel 2.4 Nilai Kritis Fc Distribusi F ( $\alpha = 0,05$  dan  $0,01$ )

<b>v<sub>2</sub> = dk<sub>2</sub> (penyebut)</b>	<b>v<sub>1</sub> = dk<sub>1</sub> (pembilang)</b>															
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	
10	0,05	4,96	4,1	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91	2,86	2,83	2,77
	0,01	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,2	5,06	4,94	4,85	4,77	4,71	4,6	4,52	4,41
11	0,05	4,84	3,98	3,59	3,36	3,2	3,09	3,01	2,95	2,9	2,85	2,82	2,79	2,74	2,7	2,65
	0,01	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,46	4,4	4,29	4,21	4,1
12	0,05	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3	2,91	2,85	2,8	2,75	2,72	2,69	2,64	2,6	2,54
	0,01	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,5	4,39	4,3	4,22	4,16	4,05	3,97	3,86
13	0,05	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,6	2,55	2,51	2,46
	0,01	9,07	6,7	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,3	4,19	4,1	4,02	3,96	3,86	3,78	3,66
14	0,05	4,6	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,7	2,65	2,6	2,57	2,53	2,48	2,44	2,39
	0,01	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,8	3,7	3,62	3,51
15	0,05	4,54	3,68	3,29	3,06	2,9	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48	2,42	2,38	2,33
	0,01	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4	3,89	3,8	3,73	3,67	3,56	3,49	3,37
16	0,05	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,46	2,42	2,37	2,33	2,28
	0,01	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,2	4,03	3,89	3,78	3,69	3,62	3,55	3,45	3,37	3,26
17	0,05	4,45	3,59	3,2	2,96	2,81	2,7	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38	2,33	2,29	2,23
	0,01	8,4	6,11	5,18	4,67	4,34	4,1	3,93	3,79	3,68	3,59	3,52	3,46	3,35	3,27	3,16
18	0,05	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,29	2,25	2,19
	0,01	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,6	3,51	3,43	3,37	3,27	3,19	3,08
19	0,05	4,38	3,52	3,13	2,9	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31	2,26	2,21	2,16
	0,01	8,18	5,93	5,01	4,5	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,36	3,3	3,19	3,12	3
20	0,05	4,35	3,49	3,1	2,87	2,71	2,6	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28	2,22	2,18	2,12
	0,01	8,1	5,85	4,94	4,43	4,1	3,87	3,7	3,56	3,46	3,37	3,29	3,23	3,13	3,05	2,94
21	0,05	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25	2,2	2,16	2,1
	0,01	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,4	3,31	3,24	3,17	3,07	2,99	2,88
22	0,05	4,3	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,4	2,34	2,3	2,26	2,23	2,17	2,13	2,07
	0,01	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,18	3,12	3,02	2,94	2,83
23	0,05	4,28	3,42	3,03	2,8	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,2	2,15	2,11	2,05
	0,01	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,3	3,21	3,14	3,07	2,97	2,89	2,78
24	0,05	4,26	3,4	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,3	2,25	2,22	2,18	2,13	2,09	2,03
	0,01	7,82	5,61	4,72	4,22	3,9	3,67	3,5	3,36	3,26	3,17	3,09	3,03	2,93	2,85	2,74
26	0,05	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,09	2,05	1,99
	0,01	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	3,02	2,96	2,86	2,78	2,66
28	0,05	4,2	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12	2,06	2,02	1,96
	0,01	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,96	2,9	2,79	2,72	2,6
30	0,05	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,13	2,09	2,04	1,99	1,93
	0,01	7,56	5,39	4,51	4,02	3,7	3,47	3,3	3,17	3,07	2,98	2,91	2,84	2,74	2,66	2,55
40	0,05	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2	1,95	1,9	1,84
	0,01	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,8	2,73	2,66	2,56	2,48	2,37
60	0,01	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,56	2,5	2,39	2,31	2,2
	0,05	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,87	1,83	1,78	1,73	1,66
$\infty$	0,05	3,84	3	2,6	2,37	2,21	2,1	2,01	1,94	1,88	1,83	1,79	1,75	1,69	1,64	1,57
	0,01	6,64	4,61	3,78	3,32	3,02	2,8	2,64	2,51	2,41	2,32	2,25	2,18	2,08	2	1,88

Sumber: Bonnier (1980)

## 2. Uji T

Apabila Uji F menghasilkan hipotesa nol yang berarti nilai varian data bersifat stasioner, pengujian berikutnya yaitu uji T akan menguji kestabilan nilai rata-ratanya. Uji T dapat digunakan pada rata-rata deret berkala yang datanya dianggap sebuah populasi. Sama halnya dengan pengujian nilai varian atau Uji F, dalam pengujian nilai rata-rata ini data deret dibagi menjadi dua kelompok terlebih dahulu (Soewarno, 1995:96).

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Bagi deret data menjadi 2 kelompok (apabila jumlah data ganjil, maka ada 1 kelompok yang memiliki jumlah data 1 buah lebih banyak)
- Hitung nilai-nilai parametrik kelompok yaitu  $N_i$  (jumlah data keompok), dan  $S_i$  (deviasi standar kelompok)
- Cari  $t_{hitung}$  dengan rumus:

$$t_{hitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (2-30)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2-31)$$

- Cari harga rerata  $t_{cr}$  pada tabel distribusi t sesuai dengan:
  - Derajat bebas  $v = N_1 + N_2 - 2$
  - Cari nilai  $\alpha$  (*Level of Significance*) yang diinginkan, misalnya  $\alpha = 5\%$
- Apabila  $t_{hitung} < t_{cr}$ , maka hipotesa  $H_0$  diterima, sebaliknya  $H_0$  ditolak.
- Apabila  $t_{hitung} > t_{cr}$ , maka hipotesa  $H_0$  ditolak, sebaliknya  $H_0$  diterima.

Apabila hasil pengujian menunjukkan  $H_0$  diterima, maka data dari dua kelompok bersifat homogen. Sebaliknya, apabila  $H_0$  ditolak, maka kedua kelompok tersebut tidak homogen dan deret berkala yang diuji tidak stasioner pada derajat kepercayaan tertentu.

Tabel 2.5. Nilai Kritis tc untuk Distribusi-t Uji Dua Sisi

<i>dk</i>	<i>Derajat Kepercayaan ta</i>				
	<i>0,10</i>	<i>0,05</i>	<i>0,025</i>	<i>0,01</i>	<i>0,005</i>
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,290	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,989
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
inf.	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Sumber: Bonnier (1980)

### 2.5.6. Uji Outlier

Data curah hujan yang diperoleh harus dilakukan uji abnormalitas terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada layak digunakan atau tidak (Chow, 1985:127). Adapun langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

- Data diurutkan dari yang terbesar ke terkecil atau sebaliknya (X)
- Menghitung harga Y dimana:

$$Y = \log X \quad (2-32)$$

- Menghitung Y rerata ( $\bar{Y}$ )

- d. Menghitung deviasi standar  $S_y$
- e. Menentukan harga  $K_n$  sesuai jumlah data
- f. Menghitung batas atas dan batas bawah harga abnormalitas data:

$$Y_H = \bar{X} + K_n \cdot S_y \bar{X} \quad (2-33)$$

$$X_H = 10^{Y_H} \quad (2-34)$$

$$Y_L = \bar{X} - K_n \cdot S_y \bar{X} \quad (2-35)$$

$$X_L = 10^{Y_L} \quad (2-36)$$

- g. Menentukan data yang dapat dipakai atau tidak dapat dipakai sesuai dengan batas atas dan batas bawah abnormalitas data.

Tabel 2.6. Harga  $K_n$  untuk Uji *Outlier*

Jumlah Data	$K_n$						
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,080	25	2,468	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	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	2,727	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	2,628	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: Chow (1985)

### 2.5.7. Curah Hujan Rerata Daerah

Pengukuran tinggi hujan pada satu stasiun hujan merupakan pengukuran pada titik tersebut saja. Untuk mendapatkan nilai curah hujan dalam satu areal yang luas (dalam suatu DAS), maka kita bisa menggunakan beberapa stasiun hujan. Curah hujan daerah merupakan nilai rerata dari pengukuran beberapa stasiun hujan yang berada di dalam atau di sekitar kawasan DAS tersebut.

Ada 3 macam cara yang bisa kita gunakan untuk menghitung curah hujan daerah dari beberapa stasiun hujan, yaitu (Soemarto, 1999:10):

#### 1. Cara Tinggi Rata-Rata

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmatic mean*) pengukuran pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (2-37)$$

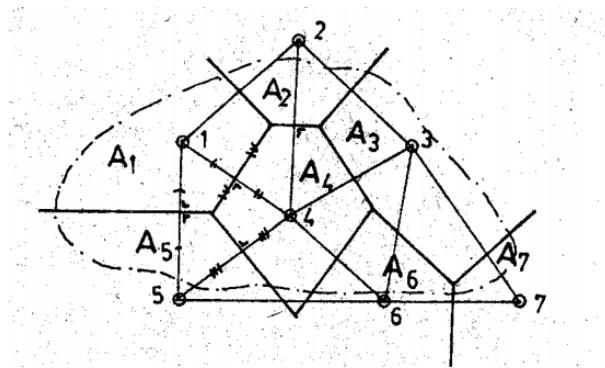
dimana:

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

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

## 2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.



Gambar 2.2. Poligon thiessen

Sumber: Soemarto (1987:10)

Misalnya  $A_1$  adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1,  $A_2$  luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah  $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$  adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan  $d_1$ , pos penakar 2 menakar  $d_2$ , dan pos penakar n menakar  $d_n$ , maka

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2-38)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A}$$

Jika  $\frac{A_i}{A} = p_i$  merupakan persentase luas pada pos I yang jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100%, maka

$$d = \sum_{i=1}^n p_i d_i \quad (2-39)$$

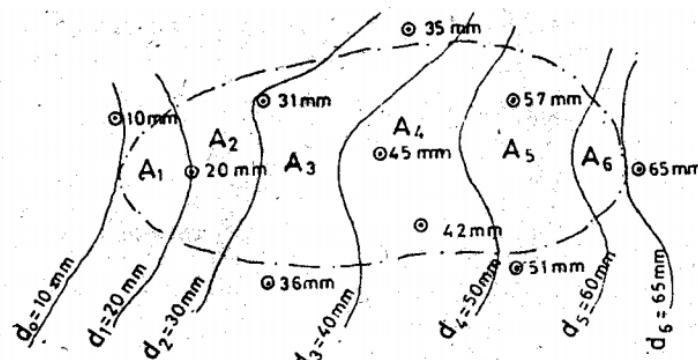
dimana:

- $A$  = luas areal
- $d$  = tinggi curah hujan rata-rata areal
- $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n
- $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n
- $\sum_{i=1}^n p_i = \text{jumlah persentase luas} = 100\%$

Hasil perhitungan menggunakan metode poligon thiessen memberikan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan metode rata-rata aljabar.

### 3. Cara Isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (isohyet), seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Isohyet

Sumber: Soemarto (1987:11)

Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur, dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur, sebagai berikut:

$$d = \frac{\frac{d_0+d_1}{2} A_1 + \frac{d_1+d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2-40)$$

dimana:

- $A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$  = luas areal total
- $d$  = tinggi curah hujan rata-rata areal
- $d_0, d_1, \dots, d_n$  = curah hujan pada isohyet 0, 1, 2, ..., n
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan

Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapatkan hujan areal rata-rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat yang memungkinkan untuk membuat isohyet. Pada waktu menggambar garis-garis isohyet sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografis).

## 2.6. Jaringan Saraf Tiruan

### 2.6.1. Pengertian

Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) atau yang biasa disingkat JST adalah sistem komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami dari pengetahuan tentang sel saraf biologis di dalam otak, yang merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba menstimulasi proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Secara sederhana, JST merupakan sebuah metode baru yang memodelkan jaringan saraf otak dalam bentuk aplikasi sehingga memudahkan manusia untuk menyelesaikan pekerjaannya karena JST ini berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang mampu belajar lewat data-data masukan.

JST dapat digambarkan sebagai model matematis dan komputasi untuk fungsi aproksimasi non-linear, klasifikasi data *cluster*, dan regresi non-parametrik atau sebuah simulasi dari koleksi model saraf biologi. Pemodelan saraf ini ditunjukkan lewat kemampuan melakukan emulasi, analisis, prediksi, serta asosiasi (Hermawan, 2006:37). JST mampu belajar dan menghasilkan suatu operasi lewat contoh-contoh atau data *input* (masukan). Selanjutnya, JST akan menyimpan karakteristik data masukan tersebut untuk membuat prediksi *output* (keluaran).

JST telah dikembangkan sebagai generalisasi model matematik dari kognisi manusia atau biologi neural, yang berbasis pada asumsi sebagai berikut (Widodo, 2005:78):

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana yang disebut neuron.
2. Sinyal diberikan antara neuron lewat jalinan koneksi.
3. Setiap jalinan koneksi mempunyai bobot yang mengalikan sinyal yang ditransmisikan.
4. Setiap neuron menerapkan fungsi aktivasi (yang biasanya non-linear) terhadap jumlah sinyal masukan terbobot untuk menentukan sinyal keluarannya.

Metode JST memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Sutojo dkk. (2010:167) menyebutkan beberapa kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh JST. Kelebihan-kelebihannya antara lain:

1. Belajar adaptif. Kemampuan untuk mempelajari bagaimana melakukan pekerjaan berdasarkan data yang diberikan untuk pelatihan atau pengalaman awal.
2. *Self-organization*. Sebuah JST dapat membuat organisasi sendiri atau representasi dari informasi yang diterimanya selama waktu belajar.
3. *Real-time operation*. Perhitungan JST dapat dilakukan secara paralel sehingga perangkat keras yang dirancang dan diproduksi secara khusus dapat mengambil keuntungan dari kemampuan ini.

Sedangkan kelemahan-kelemahannya antara lain:

1. Tidak efektif jika digunakan untuk melakukan operasi-operasi numerik dengan presisi tinggi.
2. Tidak efisien jika digunakan untuk melakukan operasi algoritma aritmatik, operasi logika, dan simbolis.
3. Untuk beroperasi, JST membutuhkan pelatihan yang tinggi, sehingga bila jumlah datanya besar, waktu yang digunakan untuk proses pelatihan sangat lama.

Penggunaan JST sangat luas dalam kehidupan sehari-hari. Contoh penggunaan JST pada beberapa bidang adalah sebagai berikut (Widodo, 2005:12):

1. Pemrosesan sinyal: untuk menghapus derau dan gema pada saluran telepon.
2. Sistem kendali: untuk kendali tangan robot yang bisa dilatih untuk memindahkan benda dari satu titik ke titik lain.
3. Pengenalan pola: untuk pengenalan huruf cetak, kode pos, yang invariant terhadap translasi, rotasi, dan skala.
4. Kedokteran: untuk diagnosis penyakit, sinyal ECG, EEG, dan EMG.
5. Sintesis dan pengenalan tutur: untuk pemodelan pembangkit tutur, identifikasi pembicara
6. Bisnis dan perbankan: untuk prediksi kebangkrutan, kurs mata uang.

### **2.6.2. Model Neuron**

Seperti halnya otak manusia, jaringan saraf juga terdiri dari beberapa neuron (sel saraf) dan ada hubungan antara neuron-neuron tersebut. Beberapa neuron akan mentransformasikan informasi yang diterimanya melalui sambungan keluaran menuju neuron-neuron yang lain. Dengan kata lain, neuron adalah sebuah unit pemroses informasi yang merupakan dasar operasi jaringan saraf tiruan. Neuron ini dimodelkan dari penyederhanaan sel saraf manusia yang sebenarnya (Hermawan, 2006:5).

Umumnya, data yang akan diproses mulai dari *layer* (lapisan) masukan hingga menjadi hasil keluaran akan membutuhkan sambungan-sambungan melewati unit

pengolah. Menurut Hermawan (2006:7), tiap-tiap sambungan antar unit pengolah berperan sebagai sebuah jalur penghubung. Nilai-nilai numerik dilewatkan sepanjang sambungan dari satu unit pengolah ke unit pengolah lainnya. Ketika unit pengolah melakukan perhitungan, nilai-nilai itu diberikan bobot berdasarkan kekuatan hubungan. Kemudian, kekuatan hubungan pada tiap sambungan akan disesuaikan selama pelatihan sehingga pada akhir pelatihan dihasilkan jaringan saraf dengan bobot-bobot yang mantap. Umumnya, kebanyakan jaringan saraf melakukan penyesuaian bobot-bobotnya selama menjalani prosedur latihan.

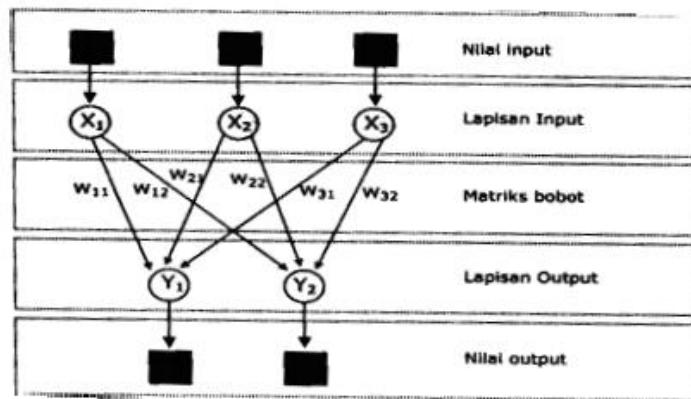
### **2.6.3. Arsitektur Jaringan**

Neuron-neuron pada jaringan saraf dikelompokkan ke dalam lapisan-lapisan yang disebut dengan lapisan neuron. Lapisan-lapisan penyusun JST dibagi menjadi tiga, yaitu (Sutojo dkk, 2010:59):

1. Lapisan *input* (*input layer*)  
Unit-unit dalam lapisan *input* disebut unit-unit *input* yang bertugas menerima pola masukan dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan.
2. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*)  
Unit-unit dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi, yang mana nilai keluarannya tidak dapat diamati secara langsung.
3. Lapisan *output* (*output layer*)  
Unit-unit dalam lapisan *output* disebut unit-unit *output*, yang merupakan solusi JST terhadap suatu permasalahan.

Beberapa arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam JST, antara lain (Sutojo dkk, 2010:86):

1. Jaringan lapisan tunggal  
Jaringan dengan lapisan tunggal terdiri dari 1 lapisan *input* dan 1 lapisan *output*. Setiap unit dalam lapisan *input* selalu terhubung dengan setiap unit yang terdapat pada lapisan *output*. Jaringan ini menerima *input* kemudian mengolahnya menjadi *output* tanpa melewati lapisan tersembunyi. Contoh JST yang menggunakan lapisan tunggal adalah ADALINE, Hopfield, Perceptron.



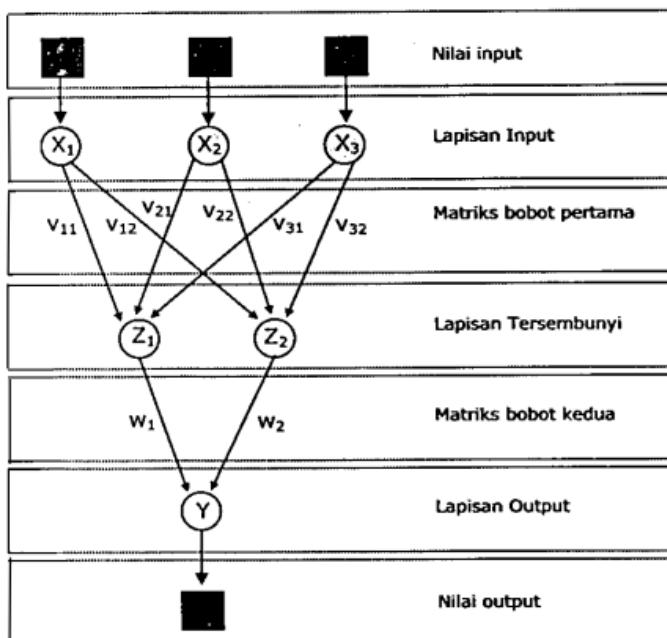
Gambar 2.4. Jaringan saraf dengan lapisan tunggal

Sumber: Kusumadewi (2003:212)

Pada gambar 2.4. di atas, lapisan *input* memiliki 3 unit neuron, yaitu  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  yang terhubung langsung dengan lapisan *output* yang memiliki 2 unit neuron, yaitu  $y_1$  dan  $y_2$ . Hubungan neuron-neuron pada kedua lapisan tersebut ditentukan oleh bobot yang bersesuaian  $w_{11}$ ,  $w_{12}$ ,  $w_{21}$ ,  $w_{22}$ ,  $w_{31}$ , dan  $w_{32}$ .

## 2. Jaringan lapisan banyak

Jaringan lapisan banyak mempunyai 3 jenis lapisan, yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output*. Jaringan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih kompleks dibandingkan dengan jaringan lapisan tunggal. Contoh JST yang menggunakan jaringan lapisan banyak adalah *MADALINE*, *Backpropagation*, dan *Neocognition*.



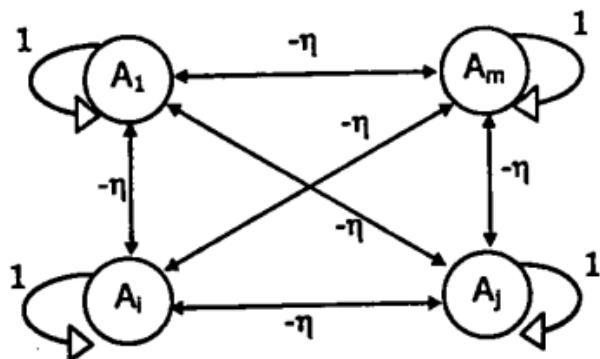
Gambar 2.5. Jaringan saraf dengan lapisan banyak

Sumber: Kusumadewi (2003:213)

Pada gambar 2.5., lapisan *input* memiliki 3 unit neuron, yaitu  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  yang terhubung langsung dengan lapisan tersembunyi yang memiliki 2 unit neuron tersembunyi, yaitu  $z_1$  dan  $z_2$ . Hubungan neuron-neuron pada lapisan *input* dan lapisan *output* ditentukan oleh bobot-bobot  $v_{11}$ ,  $v_{12}$ ,  $v_{21}$ ,  $v_{22}$ ,  $v_{31}$ , dan  $v_{32}$ . Lalu, 2 unit neuron tersembunyi  $z_1$  dan  $z_2$  terhubung secara langsung dengan lapisan *output* yang memiliki 1 unit neuron  $y$  yang besarnya ditentukan oleh bobot  $w_1$  dan  $w_2$ .

### 3. Jaringan dengan lapisan kompetitif

Jaringan ini memiliki bobot yang telah ditentukan dan tidak memiliki proses pelatihan. Jaringan ini digunakan untuk mengetahui neuron pemenang dari sejumlah neuron yang ada. Akibatnya, pada jaringan ini sekumpulan neuron bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif. Nilai bobot setiap neuron untuk dirinya sendiri adalah 1, sedangkan neuron lainnya bernilai random negatif. Contoh JST yang menggunakan jaringan dengan lapisan kompetitif adalah LVQ.



Gambar 2.6. Jaringan saraf dengan lapisan kompetitif

Sumber: Kusumadewi (2003:213)

#### 2.6.4. Metode Pelatihan

Pelatihan dibagi menjadi dua jenis, yaitu pelatihan terbimbing (*supervised training*) dan pelatihan tak terbimbing (*unsupervised training*). Pelatihan terbimbing memerlukan pasangan masukan – sasaran untuk tiap pola yang dilatihkan. Pada pelatihan tak terbimbing, penyesuaian bobot (sebagai tanggapan terhadap masukan) tidak perlu disertai sasaran. Dalam pelatihan tak terbimbing, jaringan mengklasifikasikan pola-pola yang ada berdasarkan kategori kesamaan (Hermawan, 2006:7). Penjelasan lain mengenai keduanya disajikan sebagai berikut:

##### a. Pelatihan terbimbing

Metode pelatihan terbimbing adalah pembelajaran dengan nilai keluaran telah diketahui sebelumnya. Dalam pelatihan/pembelajaran ini, jaringan dipandu oleh

sepasang data (masukan dan target) yang berfungsi sebagai pembimbing untuk melatih jaringan hingga diperoleh bobot yang terbaik, dan pelatihan/pembelajaran ini dilakukan dengan memberikan pola-pola masukan dan keluaran (Sutojo dkk, 2010:90).

Pada metode pembelajaran ini, apabila terjadi perbedaan antara pola keluaran hasil pembelajaran dengan pola target, maka disini akan muncul *error*. Apabila nilai *error* ini masih cukup besar, mengindikasikan bahwa masih perlu dilakukan lebih banyak pembelajaran lagi (Kusumadewi, 2003:86). Adapun metode pelatihan/pembelajaran *backpropagation* termasuk dalam metode ini.

#### b. Pelatihan tak terbimbing

Metode pelatihan tak terbimbing adalah pembelajaran dengan nilai keluaran tidak diketahui sebelumnya, sehingga tidak memerlukan target keluaran. Pada metode ini, jaringan hanya diberi masukan, tetapi tidak mendapatkan target yang diinginkan sehingga modifikasi bobot pada jaringan dilakukan menurut parameter tertentu (Sutojo dkk, 2010:145). Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang memiliki pola yang hampir sama ke dalam suatu area tertentu. Pembelajaran ini biasanya sangat cocok untuk pengelompokan/klasifikasi pola (Kusumadewi, 2003:101).

Pembelajaran jaringan ini biasa disebut dengan Jaringan Kohonen, yang ditemukan oleh Prof. Teuvo Kohonen pada tahun 1982. Pada Jaringan Kohonen, neuron-neuron yang tersusun dalam suatu lapisan akan terkласifikasi ke dalam suatu *cluster* yang tergantung pada vektor bobot yang paling cocok (memiliki jarak yang paling dekat) dengan pola masukan. Neuron-neuron yang memiliki vektor bobot yang paling cocok beserta dengan neuron-neuron sekitarnya akan memperbaiki bobot-bobotnya (Kusumadewi, 2003:119).

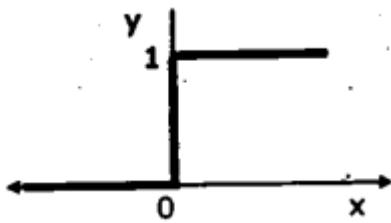
#### **2.6.5. Fungsi Aktivasi Jaringan Saraf Tiruan**

Perilaku dari jaringan saraf tiruan selain ditentukan oleh bobot-bobot juga ditentukan oleh masukan dan keluaran fungsi aktivasi yang ditetapkan. Beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan dalam JST adalah (Sutojo dkk, 2010):

##### 1. Fungsi Undak Biner *Hard Limit*

Fungsi undak biner ini biasanya digunakan oleh jaringan lapisan tunggal untuk mengkonversi nilai masukan dari suatu variabel yang bernilai kontinyu ke suatu nilai keluaran biner (0 atau 1). Secara matematis, fungsi undak biner *hard limit* dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 0 \\ 1, & \text{jika } x > 0 \end{cases} \quad (2-41)$$



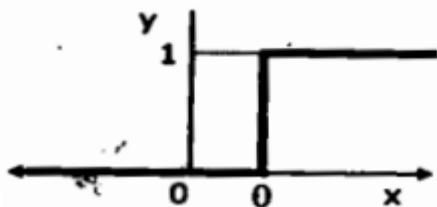
Gambar 2.7. Fungsi undak biner *hard limit*

Sumber: Kusumadewi (2003:214)

### 2. Fungsi Undak Biner *Threshold*

Berbeda dengan fungsi undak biner *hard limit*, fungsi undak biner *threshold* menggunakan nilai ambang  $\theta$  sebagai batasnya. Secara matematis, fungsi undak biner *threshold* dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x < \theta \\ 1, & \text{jika } x \geq \theta \end{cases} \quad (2-42)$$



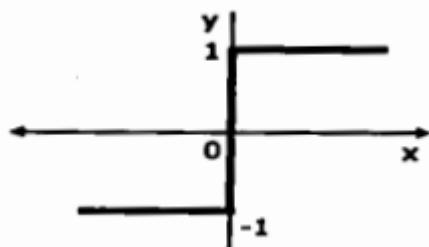
Gambar 2.8. Fungsi undak biner *threshold*

Sumber: Kusumadewi (2003:215)

### 3. Fungsi Bipolar Symetric Hard Limit

Fungsi ini mempunyai keluaran yang bernilai 1, 0, atau -1. Secara matematis, fungsi ini dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x > 0 \\ 0, & \text{jika } x = 0 \\ -1, & \text{jika } x < 0 \end{cases} \quad (2-43)$$



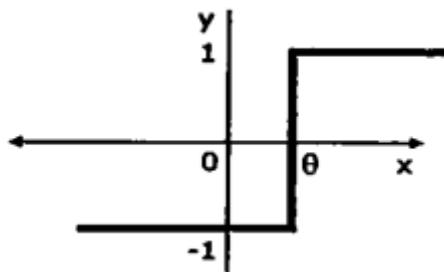
Gambar 2.9. Fungsi bipolar symetric hard limit

Sumber: Kusumadewi (2003:215)

#### 4. Fungsi Bipolar dengan *Threshold*

Fungsi bipolar dengan *threshold* mempunyai keluaran yang bernilai 1, 0, atau -1 untuk ambang batas nilai ambang  $\theta$  tertentu. Secara matematis, fungsi bipolar dengan *threshold* dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x > \theta \\ 0, & \text{jika } x = \theta \\ -1, & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2-44)$$



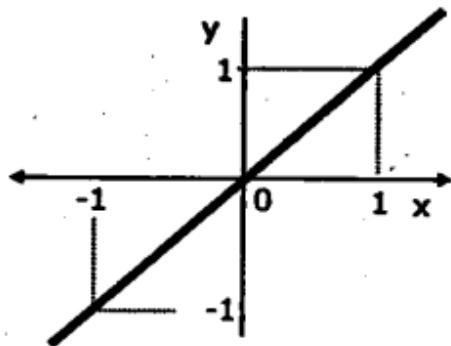
Gambar 2.10. Fungsi bipolar dengan *threshold*

Sumber: Kusumadewi (2003:216)

#### 5. Fungsi Linear (Identitas)

Nilai masukan dan keluaran pada fungsi linear adalah sama. Secara matematis, fungsi linear dituliskan sebagai berikut:

$$y = x \quad (2-45)$$



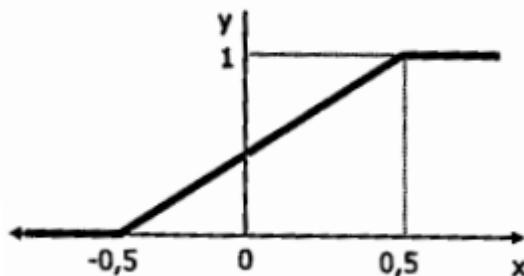
Gambar 2.11. Fungsi linear (identitas)

Sumber: Kusumadewi (2003:216)

#### 6. Fungsi *Saturating Linear*

Fungsi ini akan bernilai 1 jika masukannya lebih dari  $\frac{1}{2}$ . Jika nilai masukan terletak di antara  $-\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{2}$ , maka keluarannya akan bernilai sama dengan nilai masukan ditambah  $\frac{1}{2}$ . Jika nilai masukannya kurang dari  $-\frac{1}{2}$ , maka fungsi akan bernilai 0. Secara matematis, fungsi *saturating linear* dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq 0,5 \\ x + 0,5; & \text{jika } -0,5 \leq x \leq 0,5 \\ 0, & \text{jika } x \leq -0,5 \end{cases} \quad (2-46)$$



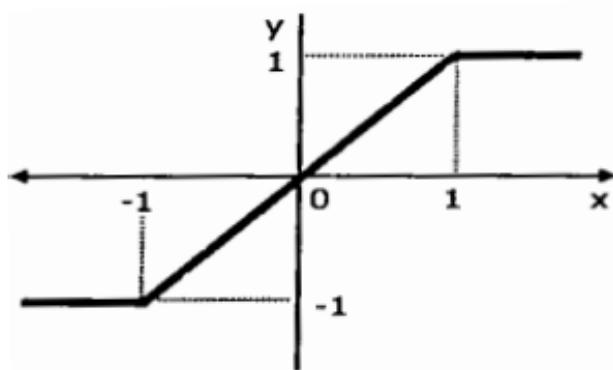
Gambar 2.12. Fungsi *saturating linear*

Sumber: Kusumadewi (2003:217)

#### 7. Fungsi *Symmetric Saturating Linear*

Fungsi ini akan bernilai 1 jika masukannya lebih dari 1. Jika nilai masukan terletak di antara -1 dan 1, maka keluarannya akan bernilai sama dengan nilai masukannya. Sedangkan jika masukannya kurang dari -1, maka fungsi akan bernilai -1. Secara matematis, fungsi ini dituliskan sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x > 1 \\ x; & \text{jika } -1 \leq x \leq 1 \\ -1, & \text{jika } x \leq -1 \end{cases} \quad (2-47)$$



Gambar 2.13. Fungsi *symetric saturating linear*

Sumber: Kusumadewi (2003:217)

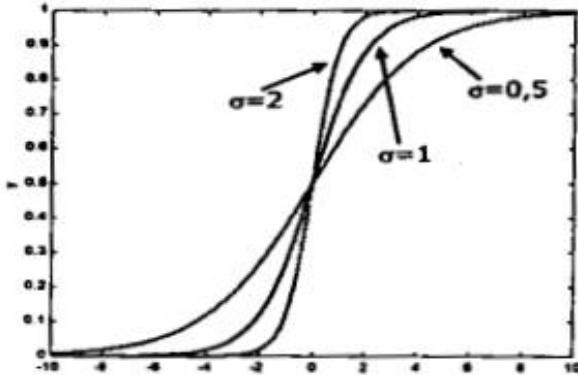
#### 8. Fungsi Sigmoid Biner

Biasanya fungsi ini digunakan untuk JST yang dilatih menggunakan metode *backpropagation*. JST yang membutuhkan nilai keluaran yang terletak pada interval 0 sampai 1 seringkali menggunakan fungsi sigmoid biner karena fungsi ini memiliki nilai pada rentang 0 sampai 1. Secara matematis, fungsi sigmoid biner dituliskan sebagai berikut:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2-48)$$

dengan,

$$f'(x) = \sigma f(x) [1 - f(x)] \quad (2-49)$$



Gambar 2.14. Fungsi Sigmoid Biner

Sumber: Kusumadewi (2003:218)

#### 9. Fungsi Sigmoid Bipolar

Keluaran dari fungsi sigmoid bipolar memiliki rentang antara 1 sampai -1. Secara matematis, fungsi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (2-50)$$

dengan,

$$f'(x) = \frac{\sigma}{2} [1 + f(x)] [1 - f(x)] \quad (2-51)$$

Fungsi ini hampir sama dengan fungsi *hyperbolic tangent*. Keduanya memiliki rentang antara -1 sampai 1. Secara matematis, fungsi *hyperbolic tangent* dituliskan sebagai berikut:

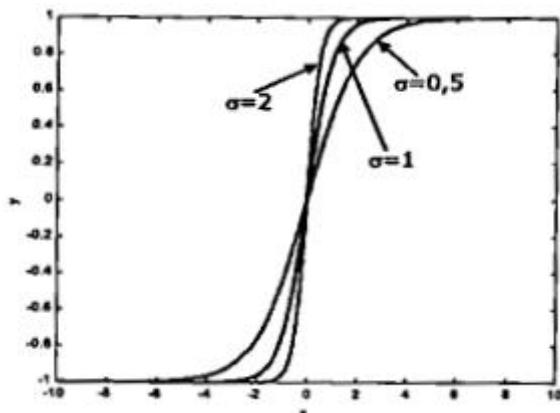
$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2-52)$$

atau

$$y = f(x) = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}} \quad (2-53)$$

dengan,

$$f'(x) = [1 + f(x)] [1 - f(x)] \quad (2-54)$$



Gambar 2.15. Fungsi sigmoid bipolar

Sumber: Kusumadewi (2003: 219)

### 2.6.6. Parameter Jaringan Saraf Tiruan

Beberapa parameter yang digunakan sebagai batas kesalahan dalam melakukan pembelajaran, batas minimum dari sebuah fungsi aktivasi, serta kontrol ukuran pada bobot. Parameter yang digunakan pada metode JST adalah sebagai berikut:

#### 1. Jumlah Epoch

Epoch merupakan perulangan atau iterasi dari proses yang dilakukan untuk mencapai target yang telah ditentukan. Jumlah epoch merupakan iterasi maksimum yang boleh dilakukan selama proses pelatihan. Iterasi akan dihentikan pada saat jumlah epoch tercapai.

#### 2. Learning rate

Learning rate merupakan laju pembelajaran yang berupa perkalian negatif dari *gradient* untuk menentukan perubahan pada nilai bobot dan bias. Semakin besar nilai *learning rate*, maka akan berdampak pada langkah pembelajaran yang semakin besar. Apabila *learning rate* diatur terlalu besar, akibatnya algoritma akan menjadi tidak stabil. Namun, apabila *learning rate* diatur terlalu kecil, maka algoritma akan mencapai target dalam waktu yang lama.

#### 3. Perhitungan *error*

Perhitungan *error* bertujuan untuk mengukur akurasi jaringan dalam mengenali pola yang diberikan. Ada tiga macam perhitungan *error* yang digunakan, yaitu:

##### a. Mean Square Error (MSE)

MSE merupakan error rerata kuadrat dari selisih antara *output* jaringan dengan *output* target (nilai aktual). Tujuannya adalah memperoleh nilai *error* sekecil mungkin lewat iterasi dengan mengganti dan mencoba-coba

nilai bobot yang terhubung pada semua neuron dalam jaringan. Untuk mengetahui seberapa banyak bobot yang diganti, setiap iterasi memerlukan perhitungan *error* yang berasosiasi dengan setiap neuron pada *output* dan hidden layer. Nilai MSE yang baik adalah yang mendekati 0 ( $MSE \approx 0$ ).

Rumus perhitungan MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_k - y_k)^2 \quad (2-55)$$

#### b. Mean Absolute Error

MAE merupakan perhitungan *error* rerata absolut dari selisih antara nilai *output* jaringan dengan *output* target (nilai aktual). Nilai MAE yang baik adalah yang mendekati 0 ( $MAE \approx 0$ ). Rumus perhitungan MAE adalah sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_k - y_k| \quad (2-56)$$

#### c. Mean Absolute Percentage Error

MAPE merupakan perhitungan *error* rerata absolut dari selisih antara nilai *output* jaringan dengan *output* target (nilai aktual) dalam bentuk persen. Umumnya, suatu pemodelan jaringan dikatakan memiliki performa yang sangat baik apabila nilai MAPE-nya berada di bawah 10% dan baik apabila nilai MAPE-nya berada di kisaran 10% hingga 20%. Rumus perhitungan MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_k - y_k| \times 100\% \quad (2-57)$$

Keterangan :

$t_k$  = nilai *output* target

$y_k$  = nilai *output* jaringan

N = jumlah *output* dari neuron

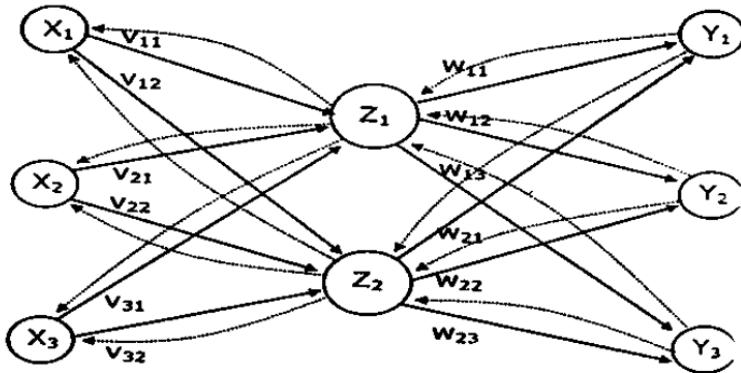
## 2.7. Model Jaringan *Backpropagation*

Keterbatasan jaringan neural satu lapisan dalam pemetaan dapat diatasi oleh jaringan multi lapis, karena dapat belajar setiap pemetaan kontinyu dengan akurasi yang lebih baik (Widodo, 2005:68). *Backpropagation* adalah metode penurunan gradien untuk meminimalkan kuadrat *error* keluarannya (Sutojo, 2010:77).

Pada pemodelan jaringan *backpropagation*, terdapat 3 tahapan. Yang pertama yaitu tahap perambatan maju (*forward propagation*), kemudian tahap perambatan balik (*back propagation*), dan tahap perubahan bobot bias.

### 2.7.1. Arsitektur Jaringan *Backpropagation*

Arsitektur jaringan *backpropagation* terdiri atas *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*.



Gambar 2.16. Jaringan saraf *backpropagation* dengan satu lapisan tersembunyi

Sumber: Kusumadewi (2003:236)

Pada gambar 2.16 di atas, *input layer* ditunjukkan oleh notasi  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), *hidden layer* ditunjukkan oleh notasi  $Z_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ), dan *output layer* ditunjukkan oleh notasi  $Y_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ).

### 2.7.2. Algoritma *Backpropagation*

Algoritma dapat diartikan sebagai kumpulan perintah yang berfungsi untuk menyelesaikan suatu masalah. Penerjemahan perintah-perintah ini dilakukan secara bertahap mulai awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa apa saja, namun kriteria kondisi awal tetap harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Algoritma seringkali memiliki langkah pengulangan atau membutuhkan keputusan (Logika Boolean dan Perbandingan) hingga tugasnya selesai.

*Backpropagation* ialah algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyi (kusumadewi, 2003:246).

Algoritma *backpropagation* menggunakan hasil keluaran *error output* untuk selanjutnya dijadikan dasar perubahan nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*back propagation*). Langkah awal yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai *error output* adalah tahap perambatan maju (*forward propagation*). Menurut Sutojo (2010:79), algoritma *backpropagation* terdiri atas inisialisasi bobot (dengan menggunakan nilai *random* yang cukup kecil sebagai bobot awal). Selanjutnya, apabila dalam kondisi berhenti bernilai salah (*false*), maka perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

### A. Tahap perambatan maju (*Forward Propagation*)

1. Setiap unit *input* ( $X_i$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) menerima sinyal  $X_i$  dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*).
2. Setiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ) menjumlahkan bobot sinyal *input*:

$$z\_in_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i \cdot v_{ij} \quad (2-58)$$

3. Serta menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal keluarannya:

$$z_j = f(z\_in_j) \quad (2-59)$$

Biasanya fungsi aktivasi yang digunakan adalah fungsi sigmoid, kemudian mengirimkan sinyal tersebut ke semua unit *output*.

4. Setiap unit *output* ( $Y_k$ ;  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) menjumlahkan bobot sinyal *input*.

$$y\_in_k = w_{0j} + \sum_{i=1}^p z_i \cdot w_{jk} \quad (2-60)$$

5. Serta menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal keluarannya:

$$y_k = f(y\_in_k) \quad (2-61)$$

### B. Tahap perambatan balik (*Backpropagation*)

1. Setiap unit *output* ( $Y_k$ ;  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) menerima pola target sesuai dengan pola *input* pelatihan, kemudian hitung *error* dengan persamaan berikut:

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y\_in_k) \quad (2-62)$$

Dengan  $f'$  adalah turunan dari fungsi aktivasi, kemudian hitung koreksi bobot dengan persamaan berikut:

$$\Delta w_{jk} = \alpha \cdot \delta_k \cdot z_j \quad (2-63)$$

Dan menghitung koreksi bias dengan persamaan berikut:

$$\Delta w_{0k} = \alpha \cdot \delta_k \quad (2-64)$$

Sekaligus mengirimkan  $\delta_k$  ke unit-unit yang ada di lapisan paling kanan.

2. Setiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ) menjumlahkan delta ( $\delta$ ) masukannya (dari unit-unit yang berada pada lapisan di kanannya):

$$\delta\_in_j = \sum_{k=1}^m \delta_k \cdot w_{kj} \quad (2-65)$$

3. Untuk menghitung informasi *error*, kalikan nilai hasil pada persamaan 2.38 dengan turunan dari fungsi aktivasinya:

$$\delta_j = \delta_{inj} \cdot f'(z_{inj}) \quad (2-66)$$

4. Kemudian hitung koreksi bobot dengan persamaan berikut:

$$\Delta \mathcal{V}_{jk} = \alpha \cdot \delta_j \cdot x_i \quad (2-67)$$

5. Setelah itu, hitung juga koreksi bias dengan persamaan berikut:

$$\Delta \mathcal{V}_{0j} = \alpha \cdot \delta_j \quad (2-68)$$

### C. Tahap perubahan bobot dan bias

1. Setiap unit *output* ( $Y_k$ ;  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) dilakukan perubahan bobot dan bias ( $j = 0, 1, 2, 3, \dots, p$ ) dengan persamaan berikut:

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (2-69)$$

2. Setiap unit tersembunyi ( $Z_j$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, p$ ) dilakukan perubahan bobot dan bias ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) dengan persamaan berikut:

$$\mathcal{V}_{ij}(\text{baru}) = \mathcal{V}_{ij}(\text{lama}) + \Delta \mathcal{V}_{ij} \quad (2-70)$$

3. Tes kondisi berhenti

#### 2.7.3. Pelatihan Jaringan *Backpropagation*

Menurut Widodo (2005:39), motivasi penerapan jaringan perambatan balik (*backpropagation*) adalah memperoleh keseimbangan antara tanggapan yang benar terhadap pola pelatihan/pembelajaran dan tanggapan yang baik terhadap pola uji yang berarti keseimbangan antara memorisasi dan generalisasi, sehingga tidak perlu melatih jaringan sampai galat (*error*) kuadrat total mencapai minimum.

#### 2.7.4. Pemilihan Bobot Awal

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan bobot awal antara lain (Widodo, 2005:68):

1. Pembaruan bobot antara dua unit tergantung pada:
  - a. Derivatif fungsi aktivasi unit yang lebih atas (dekat lapisan keluaran)
  - b. Aktivasi unit yang lebih bawah (dekat lapisan masukan)

Maka perlu dihindari pemilihan bobot awal yang membuat aktivasi atau derivatif menjadi nol.
2. Bobot awal tidak boleh terlalu besar, karena fungsi aktivasi sigmoid bisa jatuh ke daerah jenuh, sehingga derivatifnya sangat kecil.
3. Bobot awal tidak boleh terlalu kecil, karena masukan netto ke unit tersembunyi atau unit keluaran bisa menjadi nol, yang mengakibatkan pelatihan sangat lambat.

4. Prosedur umum adalah dengan inisialisasi bobot dan prasikap ke nilai acak antara -0,5 dan 0,5 (atau antara -1 dan 1).

Salah satu metode dalam menginisialisasi bobot awal adalah berdasarkan Nguyen Widrow berdasarkan fungsi aktivasi:

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2-71)$$

Nguyen dan Widrow memberikan prosedur inisialisasi bobot awal sebagai berikut:

Untuk setiap unit tersembunyi ( $j = 1, \dots, p$ )

- Inisialisasikan vektor bobot dari unit masukan ke unit tersembunyi,  $v_{ij} \text{ (lama)} =$  bilangan acak antara -0,5 dan 0,5 atau antara  $-\gamma$  dan  $\gamma$ .
- Hitung norm  $v_{ij} \text{ (lama)} = \|v_{ij} \text{ (lama)}\|$
- Reinisialisasi bobot dari unit masukan ke unit tersembunyi dengan persamaan:

$$v_{ij} \text{ (lama)} = \frac{\beta v_{ij} \text{ (lama)}}{\|v_{ij} \text{ (lama)}\|} \quad (2-72)$$

Dengan:

$$\beta = \text{faktor skala} = 0,7 (p)^{1/n}$$

$$n = \text{cacah unit masukan}$$

- Tentukan prasikap (unit yang bernilai 1)
- $v_{ij} =$  bilangan acak antara  $-\beta$  dan  $\beta$

## 2.8. Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif digunakan untuk menghitung prosentase kesalahan relatif jaringan stasiun hujan yang dimodelkan terhadap jaringan stasiun hujan yang sudah ada. Perhitungan kesalahan relatif dilakukan dengan rumus berikut (Sugiyono, 2017):

$$K_r = \left| \frac{X_a - X_b}{X_a} \right| \quad (2-73)$$

dengan:

$$K_r = \text{kesalahan relatif (\%)}$$

$$X_a = \text{nilai asli}$$

$$X_b = \text{aproksimasi/pemodelan}$$

## 2.9. Efisiensi Nash-Sutcliffe

Parameter lain yang dapat digunakan dalam menghitung ketelitian pemodelan adalah efisiensi *Nash-Sutcliffe*. Efisiensi *Nash-Sutcliffe* digunakan untuk mengetahui sejauh mana kemiripan dari pemodelan data yang diuji terhadap aslinya. Persamaan yang diberikan adalah (Croke, et al, 2005):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (2-74)$$

dengan:

$NSE$  = efisiensi *Nash-Sutcliffe*

$Q_o$  = nilai observasi

$Q_m$  = nilai simulasi model

$\bar{Q}_o$  = nilai rata-rata data observasi

Penelitian yang telah dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999) menyajikan beberapa kriteria NSE seperti yang disajikan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Nilai NSE	Interpretasi
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
$NSE < 0,36$	Tidak memenuhi

Sumber: Motovilov, *et al* (1999)

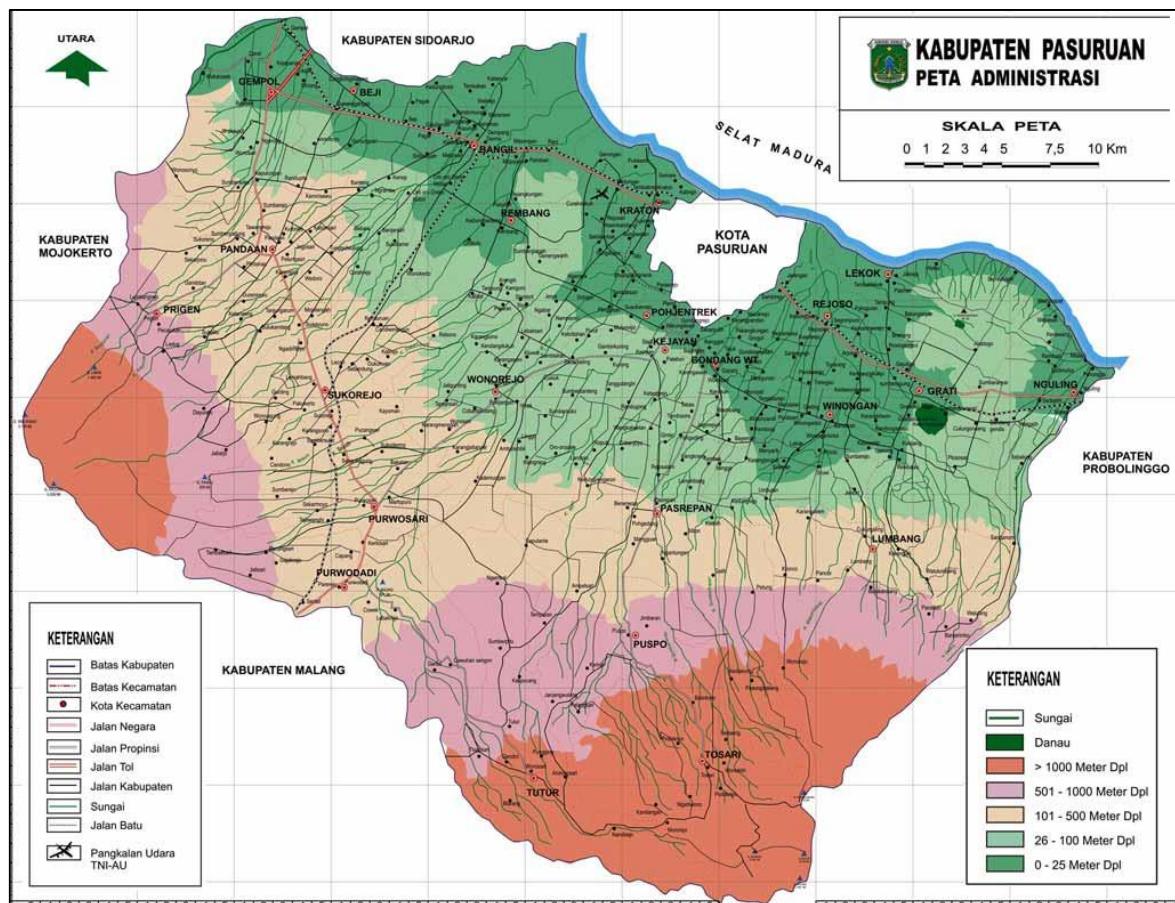
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Deskripsi Lokasi Studi

Kabupaten Pasuruan merupakan Daerah Tingkat II yang berada pada posisi cukup strategis, yaitu jalur regional dan utama perekonomian Surabaya – Malang dan Surabaya – Banyuwangi. Hal tersebut menguntungkan dalam pengembangan ekonomi dan membuka peluang investasi di Kabupaten Pasuruan.

Kabupaten Pasuruan mempunyai luas wilayah 147.401,50 Ha (3,13 % luas Propinsi Jawa Timur) terdiri dari 24 Kecamatan, 24 Kelurahan, 341 Desa dan 1.694 Pedukuhan. Selain itu, Kabupaten Pasuruan juga disebut sebagai daerah pegunungan karena memiliki dua pegunungan besar, yaitu Pegunungan Arjuno-Welirang dan Pegunungan Bromo yang menjadi ikon pariwisata.



Gambar 3.1. Peta administrasi Kabupaten Pasuruan

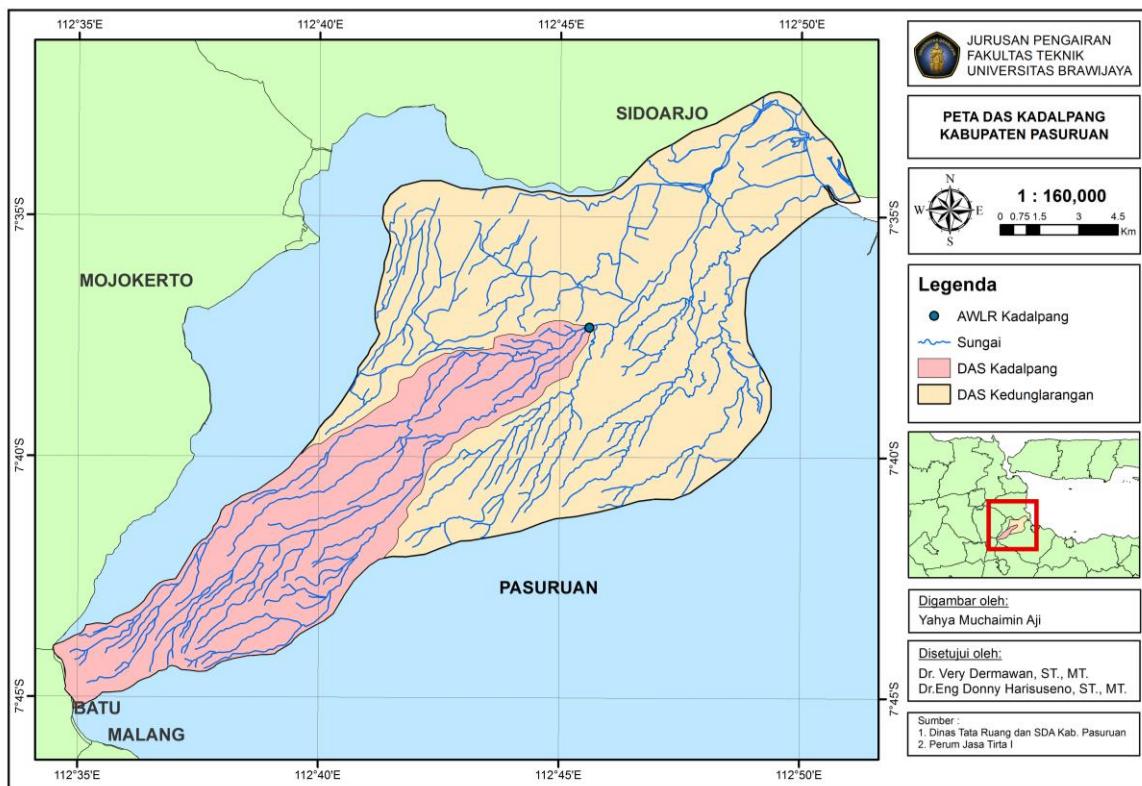
Sumber: Badan Pertanahan Nasional Kab. Pasuruan (2014)

Kabupaten Pasuruan memiliki 5 (lima) DAS yang semuanya bermuara di Selat Madura. Selengkapnya akan disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3.1. DAS di Kabupaten Pasuruan

No.	Nama DAS	Luas (Km <sup>2</sup> )	Hulu
1	Lawean	75,85	Pegunungan Bromo
2	Petung	163,12	Pegunungan Bromo
3	Kedunglarangan	268,68	Pegunungan Arjuno
4	Rejoso	342,59	Pegunungan Bromo
5	Welang	506,83	Pegunungan Arjuno dan Bromo

Sumber: Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan (2017)



Gambar 3.2. Peta Sub DAS Kadalpang

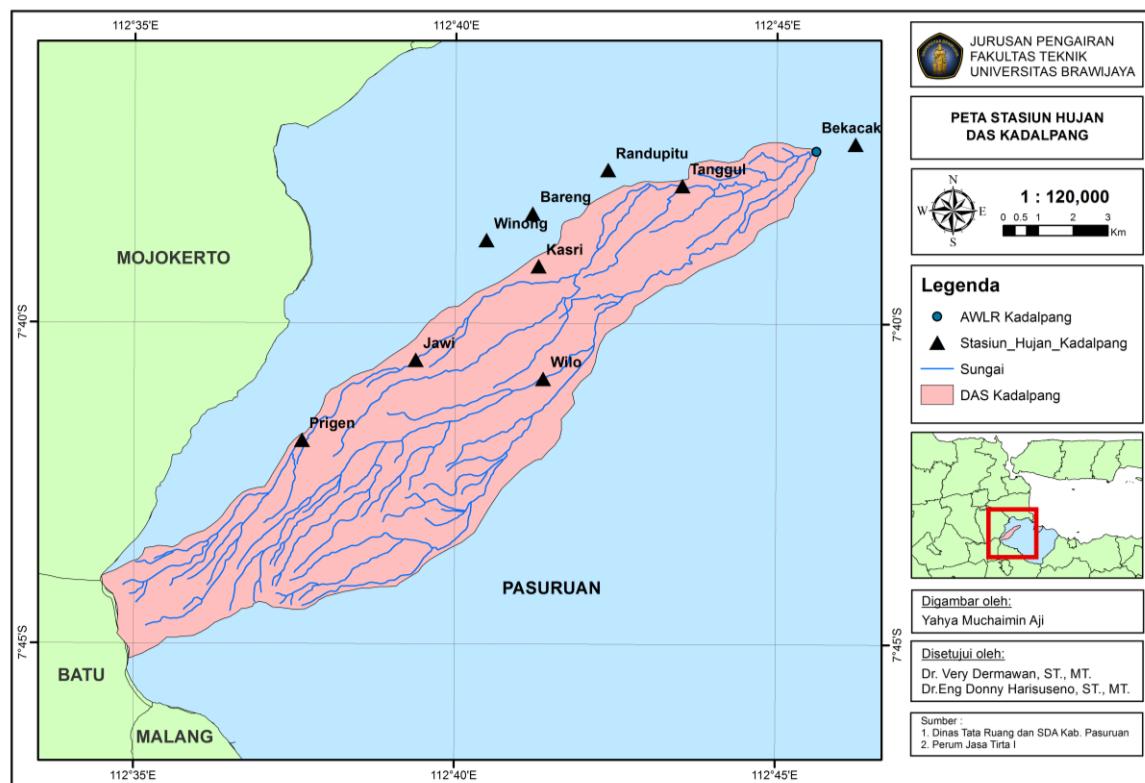
Sumber: Hasil penggambaran (2017)

Sub DAS Kadalpang merupakan bagian hulu dari DAS Kedunglarangan. Sub DAS Kadalpang yang menjadi daerah kajian dalam studi ini memiliki luas 86,4 Km<sup>2</sup> dan terletak pada wilayah Kabupaten Pasuruan sebelah barat. Terdapat 9 (sembilan) stasiun hujan yang tersebar di beberapa kecamatan, mulai dari hulu Sub DAS yaitu Kecamatan Prigen hingga Kecamatan Bangil yang merupakan hilir Sub DAS.

Tabel 3.2. Stasiun Hujan di Sub DAS Kadalpang

No.	Stasiun Hujan	Lokasi		Koordinat		Elevasi (mdpl)
		Desa	Kecamatan	B. Timur	L. Selatan	
1	Winong	Sumber Gadang	Pandaan	112° 40' 28,75"	07° 38' 42,37"	212
2	Bareng	Tawangrejo	Pandaan	112° 41' 11,92"	07° 38' 17,48"	162
3	Randupitu	Randupitu	Gempol	112° 42' 22,21"	07° 37' 36,38"	127
4	Tanggul	Baujeng	Beji	112° 43' 31,64"	07° 37' 51,09"	115
5	Jawi	Gambiran	Prigen	112° 39' 22,80"	07° 40' 34,48"	405
6	Kasri	Petungasri	Pandaan	112° 41' 17,61"	07° 39' 06,59"	208
7	Wilo	Ketan Ireng	Prigen	112° 41' 22,06"	07° 40' 51,86"	265
8	Prigen	Prigen	Prigen	112° 37' 36,87"	07° 41' 49,77"	847
9	Bekacak	Kolursari	Bangil	112° 46' 13,42"	07° 37' 11,76"	40

Sumber: Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan (2016)



Gambar 3.3. Peta stasiun hujan Sub DAS Kadalpang

Sumber: Hasil penggambaran (2017)

### 3.1.1. Keadaan Geografi

Letak geografis Kabupaten Pasuruan adalah  $112^{\circ} 33' 55'' - 113^{\circ} 30' 37''$  Bujur Timur dan  $70^{\circ} 32' 34'' - 80^{\circ} 30' 20''$  Lintang Selatan. Batas – batas wilayahnya adalah:

- Utara : Kabupaten Sidoarjo dan Selat Madura.
- Selatan : Kabupaten Malang
- Timur : Kabupaten Probolinggo
- Barat : Kabupaten Mojokerto

### **3.1.2. Keadaan Geologi**

Struktur tanah di Kabupaten Pasuruan sebagian besar terdiri dari jenis Alluvial, Mediterian, Regosol, Labosal, Litasol, Grumasol, dan Andosal.

### **3.1.3. Keadaan Topografi**

Kondisi wilayah Kabupaten Pasuruan terdiri dari daerah pegunungan berbukit dan daerah dataran rendah, yang secara rinci dibagi menjadi 3 bagian :

- a. Bagian selatan dan barat terdiri dari pegunungan dan perbukitan dengan ketinggian permukaan tanah antara 186 meter sampai 2.700 meter yang membentang mulai dari wilayah Kecamatan Lumbang, Kecamatan Puspo, Kecamatan Tosari, Kecamatan Tutur, Kecamatan Purwodadi, Kecamatan Prigen, dan Kecamatan Purwodadi.
- b. Bagian Tengah terdiri dari dataran rendah yang berbukit dengan ketinggian permukaan antara 6 meter sampai 91 meter dan pada umumnya relatif subur.
- c. Bagian Utara terdiri dari dataran rendah pantai yang tanahnya kurang subur dengan ketinggian permukaan tanah 2 meter sampai 8 meter. Daerah ini membentang dari utara ke barat yakni wilayah Kecamatan Nguling, Kecamatan Lekok, Kecamatan Rejoso, Kecamatan Kraton, dan Kecamatan Bangil.

Selain itu, keadaan kemiringan tanah di Kabupaten Pasuruan sangat bervariasi, yaitu:

- a. Kemiringan 0 - 10 derajat meliputi  $\pm 20\%$  luas wilayah. Daerah ini merupakan dataran rendah yang terletak dibagian utara.
- b. Kemiringan 10 - 25 derajat meliputi  $\pm 20\%$  luas wilayah. Daerah ini merupakan dataran yang bergelombang yang terletak di bagian tengah.
- c. Kemiringan 25 - 45 derajat meliputi  $\pm 30\%$  luas wilayah. Daerah ini merupakan dataran yang bersambung dengan perbukitan di bagian barat dan timur.
- d. Kemiringan di atas 45 derajat meliputi  $\pm 30\%$  luas wilayah. Daerah ini merupakan pegunungan yang terletak di bagian selatan.

### **3.1.4. Keadaan Klimatologi**

Kabupaten Pasuruan pada umumnya beriklim tropis berdasarkan klasifikasi Schimdt dan Fergusan. Sebagian besar kecamatan memiliki tipe iklim C dan selebihnya tipe B. Suhu udara sebagian besar wilayah berada di antara 24 – 32 °C, sedangkan untuk wilayah diatas 2.770 meter suhu terendahnya mencapai 5 °C, terutama Kecamatan Tosari. Variasi curah hujan rata – rata berada di bawah 1.750 mm. Angin barat dan timur berkecepatan rata – rata 12 – 30 knot. Curah hujan untuk wilayah Kabupaten Pasuruan tergolong tipe D yang berarti

keadaan daerah secara umum tergolong daerah kering, meskipun di beberapa daerah pegunungan curah hujan masih tergolong cukup.

### **3.1.5. Keadaan Hidrografi**

Potensi hidrografi memberikan peluang yang besar bagi pembangunan, baik untuk keperluan air minum, irigasi, pariwisata, dan industri. Potensi hidrografi yang ada antara lain 18 sungai dan 6 sungai besar yang bermuara di Selat Madura.

Selain potensi sungai, terdapat danau dan sejumlah mata air lainnya, di antaranya Danau Ranu Grati yang memiliki debit air maksimum 980 liter/detik. Kemudian, terdapat pula 470 sumber mata air yang tersebar di 24 kecamatan.

Sumber air yang terbesar adalah Sumber Air Umbulan di Kecamatan Winongan dengan debit 5.650 liter/detik yang digunakan untuk keperluan air minum Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, dan Kota Surabaya. Menurut rencana terbaru, penggunaannya akan diperluas hingga Kabupaten Sidoarjo serta Kabupaten Gresik. Satu lagi sumber yang cukup besar yaitu Sumber Air Banyubiru yang juga terdapat di Kecamatan Winongan dengan debit air maksimum 225 liter/detik.

Pada wilayah Kabupaten Pasuruan mengalir enam sungai besar yang bermuara di Selat Madura, yaitu:

- a. Sungai Lawean : Bermuara di Desa Penunggul, Kecamatan Nguling.
- b. Sungai Rejoso : Bermuara di Wilayah Kecamatan Rejoso.
- c. Sungai Gembong : Bermuara di Wilayah Kota Pasuruan.
- d. Sungai Welang : Bermuara di Desa Pulokerto, Kecamatan Kraton.
- e. Sungai Masangan : Bermuara di Desa Raci, Kecamatan Bangil.
- f. Sungai Kedunglarangan : Bermuara di Desa Kalianyar, Kecamatan Bangil.

### **3.1.6. Keadaan Demografi**

Jumlah penduduk Kabupaten Pasuruan tergolong relatif besar, yaitu 1.510.261 jiwa yang terdiri dari laki – laki 762.885 jiwa dan perempuan 762.885 jiwa (data akhir tahun 2010 BPS Kabupaten Pasuruan) dengan kepadatan penduduk 1.025 jiwa/km<sup>2</sup>. Keanekaragaman penduduk didominasi oleh Suku Jawa, kemudian Suku Madura, Suku Tengger, dan keturunan asing antara lain Cina, Arab, dan India. Agama yang dianut adalah Islam, Kristen Protestan, Kristen Katholik, Budha, dan Hindu.

### **3.2. Data-data yang Diperlukan**

Dalam melakukan analisa pada penelitian ini, maka dibutuhkan beberapa data sekunder sebagai berikut:

1. Peta Sub DAS Kadalpang, yang menjadi daerah pembahasan dalam penelitian ini.
2. Peta Letak Stasiun Hujan di Sub DAS Kadalpang, yang berisi informasi koordinat dan elevasi seluruh pos stasiun hujan pada wilayah Sub DAS Kadalpang.
3. Data Curah Hujan Bulanan selama 10 tahun terakhir dari seluruh pos stasiun hujan di Sub DAS Kadalpang.
4. Data Debit Sungai Bulanan di Sub DAS Kadalpang.

### **3.3. Tahapan Penyelesaian Studi**

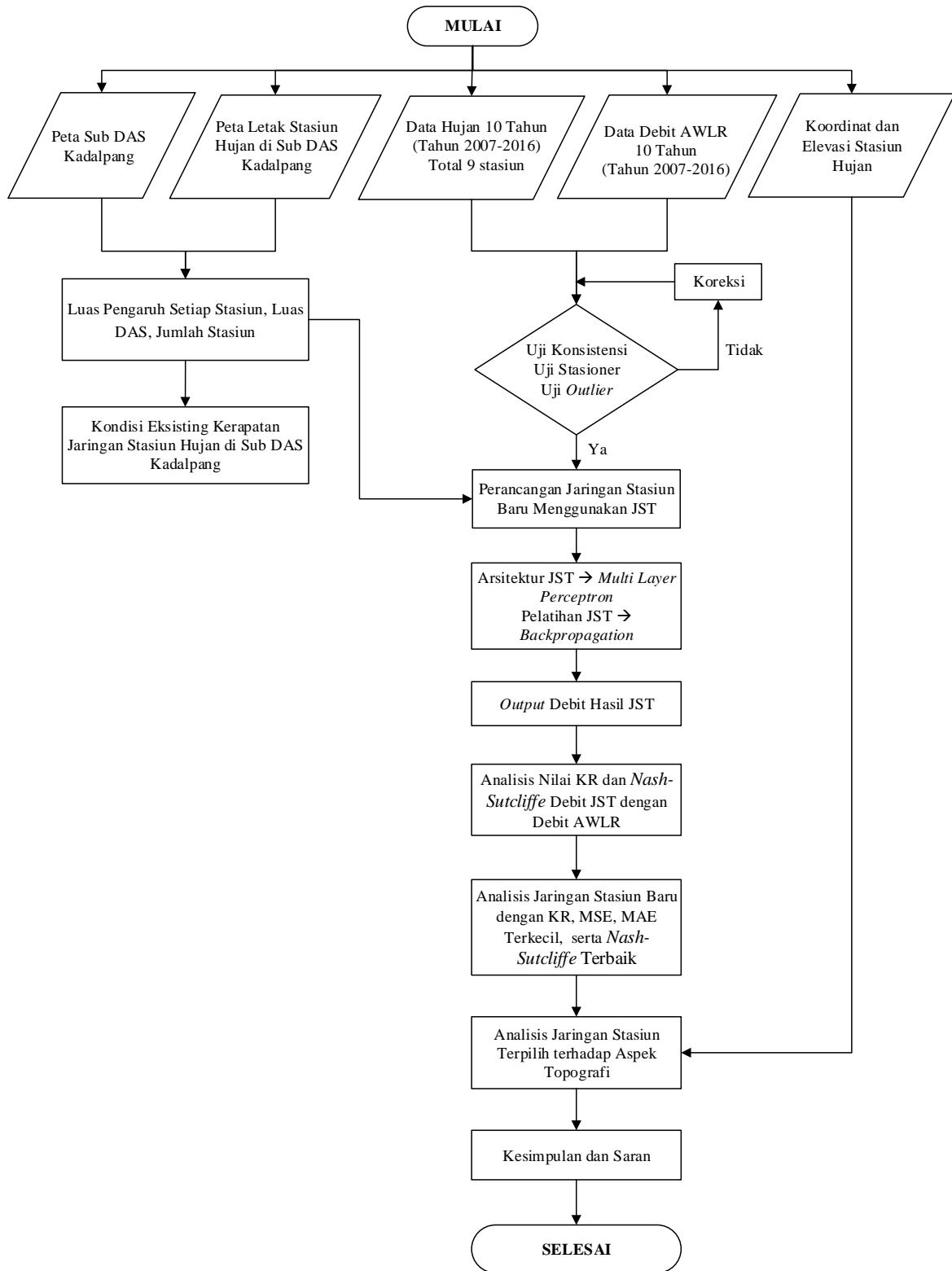
Studi ini bertujuan untuk menganalisa alternatif jaringan stasiun hujan yang baru berdasarkan data hujan sebagai variabel bebas (independen) dan data debit AWLR sebagai variabel terikat (dependen) pada Sub DAS Kadalpang. Alternatif jaringan stasiun hujan terbaik adalah kombinasi stasiun hujan yang memiliki keluaran debit JST dengan kesalahan relatif terkecil terhadap data debit AWLR.

Untuk mempermudah penyelesaian studi ini, maka dibuatlah uraian langkah-langkah penyelesaian secara sistematis. Tahapan atau langkah-langkah penyelesaian studi tersebut ditampilkan dalam Tabel 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.

Tabel 3.3. Tahapan Penyelesaian Studi

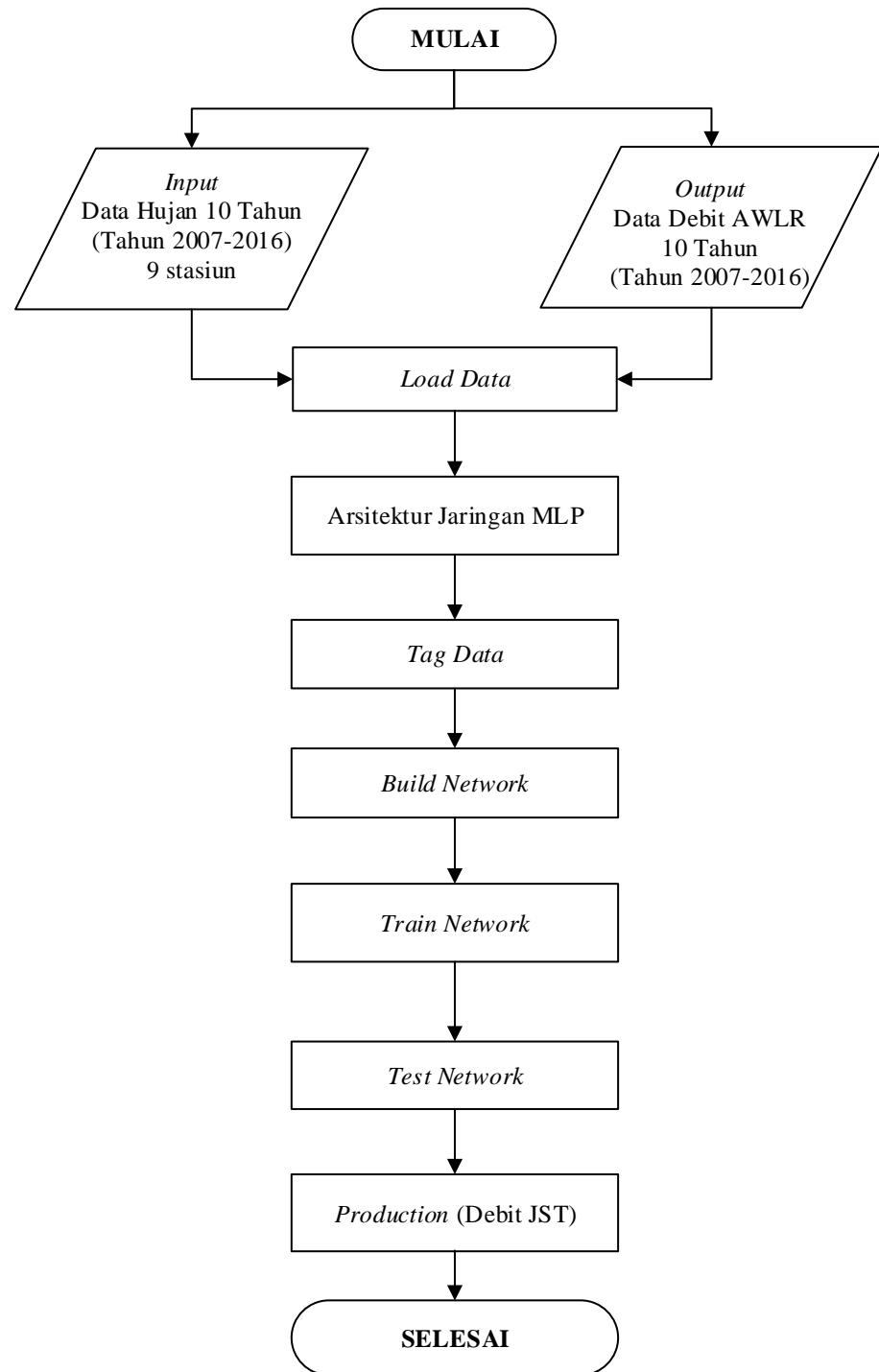
No	Tahapan Studi	Data yang digunakan	Metode yang digunakan	Keterangan
1	Survei dan pengumpulan data	-	-	Melengkapi semua data yang diperlukan (data hujan dan debit bulanan tahun 2007-2016, peta DAS, peta stasiun hujan)
2	Pengisian data hujan yang hilang	Data hujan bulanan	1. <i>Normal ratio method</i> 2. <i>Reciprocal method</i>	Melengkapi data hujan bulanan yang hilang (jika ada)
3	Pengisian data debit yang hilang	Data hujan dan debit bulanan	Model regresi linier	Melengkapi data debit bulanan yang hilang (jika ada)
4	Uji konsistensi data hujan dan debit	Data hujan dan debit tahunan	1. Kurva massa ganda 2. <i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i> (RAPS)	Menguji konsistensi data hujan dan debit (kebenaran data lapangan) terhadap potensi adanya kesalahan/gangguan
5	Penyaringan data hujan dan data debit	Data hujan dan debit bulanan dan tahunan	1. Uji stasioner (Uji F dan Uji T) 2. Uji <i>outlier</i>	Menguji kestabilan nilai varian, rata-rata, serta <i>outlier</i> dari deret data hujan dan debit berkala
6	Analisis kerapatan jaringan stasiun hujan saat ini	Luas pengaruh stasiun hujan, luas DAS, jumlah stasiun	1. Standar WMO 2. Cara Sugawara 3. Cara Bleasdale 4. Cara Varshney	Mengetahui kesesuaian jaringan stasiun hujan saat ini terhadap beberapa metode yang ada
7	Pemodelan debit Jaringan Saraf Tiruan	Data hujan dan data debit bulanan	Jaringan saraf tiruan dengan Arsitektur <i>Multi Layer Perceptron</i> (MLP) dan algoritma <i>Backpropagation</i>	Mengetahui hasil pemodelan debit JST pada masing-masing kombinasi jaringan baru yang bisa dibentuk
8	Analisis Kesalahan Relatif <i>Nash-Sutcliffe</i> , MSE, dan MAE	Debit JST, debit AWLR	Persamaan Kesalahan Relatif, <i>Nash-Sutcliffe</i> , serta parameter <i>output</i> JST (MSE, MAE)	Memilih kombinasi jaringan dengan Kesalahan Relatif, MSE, dan MAE terkecil, serta <i>Nash-Sutcliffe</i> tertinggi
9	Hubungan jaringan stasiun terpilih terhadap aspek topografi	Jaringan stasiun hujan terpilih (koordinat, elevasi)	Persamaan regresi	Menemukan hubungan yang terjadi antara pemilihan jaringan stasiun hujan yang baru dengan kaitannya terhadap aspek topografi

Sumber: Hasil Perhitungan (2017)



Gambar 3.4. Diagram alir pengerjaan studi

Sumber: Hasil penggambaran (2017)



Gambar 3.5. Diagram alir penggerjaan JST dengan *NeuroSolutions for Excel*  
Sumber: Hasil penggambaran (2017)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pengolahan Data**

Variabel tunggal yang menjadi masukan dalam studi ini adalah data hujan selama 10 tahun (2007-2016) dari 9 stasiun hujan yang tersebar di dalam dan sekitar Sub DAS Kadapang. Sedangkan variabel yang menjadi kontrol (acuan) keluaran adalah data debit dari 1 titik AWLR. Agar hasil pemodelan debit JST memiliki hasil yang baik dan sesuai dengan yang diharapkan, maka data yang akan dipakai diuji terlebih dahulu karakteristiknya menggunakan statistika agar teruji kualitasnya sebelum digunakan dalam analisa selanjutnya.

##### **4.1.1. Uji Konsistensi Data Hujan**

Data curah hujan tahunan dari setiap stasiun akan diuji kepanggahannya (konsistensi) menggunakan lengkung massa ganda. Pada uji konsistensi, pertambahan kumulatif data setiap stasiun akan dibandingkan dengan pertambahan kumulatif data pada stasiun lain sebagai pembanding (stasiun lain dianggap benar sehingga dijadikan acuan).

Tabel 4.1. Data Curah Hujan Tahunan Sub DAS Kadapang

Stasiun	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak
2007	936	1.546	1.563	1.457	2.191	1.682	2.287	2.694	1.541
2008	1.996	1.676	1.934	1.667	2.507	2.033	2.858	3.512	1.654
2009	1.732	1.755	1.646	1.656	2.830	1.987	3.844	3.823	1.393
2010	3.642	2.799	3.582	3.227	4.236	3.622	4.274	5.771	3.537
2011	3.153	2.593	2.312	1.991	3.165	2.965	4.247	4.093	1.938
2012	2.164	1.863	1.903	1.645	2.667	2.262	2.431	2.840	2.026
2013	2.821	2.575	2.681	2.654	4.190	2.974	3.761	5.144	3.126
2014	2.096	1.617	1.683	1.402	2.915	1.799	1.780	3.178	1.576
2015	1.883	1.908	1.540	1.514	2.803	1.772	2.174	3.271	1.544
2016	2.870	2.380	2.218	2.051	3.458	2.774	2.550	4.188	1.778

Sumber: Dinas Tata Ruang dan Sumber Daya Air Kab. Pasuruan, 2017

Pada pengujian kali ini, bagian terpenting yang harus diperhatikan adalah penggunaan stasiun sekitar yang dipakai sebagai acuan oleh stasiun yang akan diuji. Mengingat sebaran hujan yang terjadi sangat bervariasi dari hulu hingga hilir DAS, maka stasiun sekitar yang digunakan juga harus merupakan stasiun terdekat yang sekiranya memiliki sebaran hujan lebih kurang sama. Stasiun terdekat yang digunakan tentu stasiun yang Poligon Thiessennya yang bersentuhan secara langsung satu sama lain, seperti

pada Gambar 3.3. Adapun rekapitulasi penggunaan stasiun sekitar adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Daftar Penggunaan Stasiun Pembanding

Stasiun	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak	Jumlah
Winong	-	O	O		O	O	O			5
Bareng	O	-	O	O		O				4
Randupitu	O	O	-	O		O				4
Tanggul		O	O	-		O		O	4	
Jawi	O				-		O	O		3
Kasri	O	O	O			-	O			4
Wilo					O	O	-	O		3
Prigen					O		O	-		2
Bekacak				O	O				-	2

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.3. Jarak Antar Stasiun (dalam Km)

Stasiun	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak
Winong	-	<b>1,54</b>	<b>4,06</b>	5,87	<b>4,02</b>	<b>1,69</b>	<b>4,33</b>	7,86	11,02
Bareng	<b>1,54</b>	-	<b>2,52</b>	<b>4,40</b>	5,42	<b>1,53</b>	4,78	9,34	9,54
Randupitu	<b>4,06</b>	<b>2,52</b>	-	<b>2,19</b>	7,82	<b>3,43</b>	6,32	11,80	7,19
Tanggul	5,87	<b>4,40</b>	<b>2,19</b>	-	9,21	<b>4,76</b>	6,88	13,22	<b>5,15</b>
Jawi	<b>4,02</b>	5,42	7,82	9,21	-	4,47	<b>3,73</b>	<b>4,02</b>	14,16
Kasri	<b>1,69</b>	<b>1,53</b>	<b>3,43</b>	4,76	4,47	-	<b>3,26</b>	8,49	9,81
Wilo	4,33	4,78	6,32	6,88	<b>3,73</b>	<b>3,26</b>	-	<b>7,19</b>	11,29
Prigen	7,86	9,34	11,80	13,22	<b>4,02</b>	8,49	<b>7,19</b>	-	18,14
Bekacak	11,02	9,54	<b>7,19</b>	<b>5,15</b>	14,16	9,81	11,29	18,14	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian kali ini, stasiun dijadikan contoh perhitungan adalah Stasiun Prigen. Sedangkan stasiun yang menjadi pembanding adalah Stasiun Jawi dan Wilo.

Tabel 4.4. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Prigen – Bagian 1

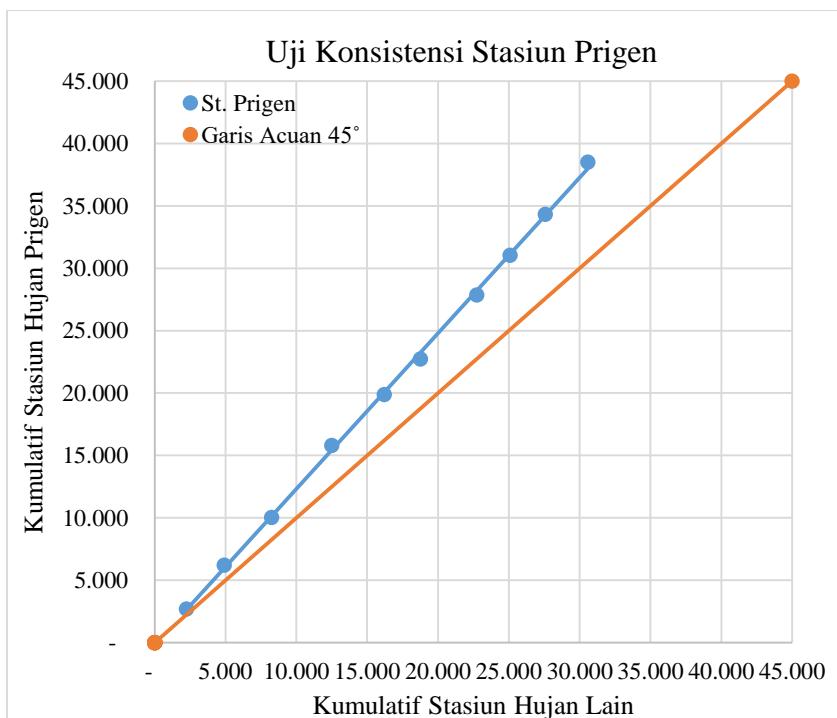
Stasiun	Jawi	Wilo	Rerata
<b>2007</b>	2.191	2.287	2.239
<b>2008</b>	2.507	2.858	2.683
<b>2009</b>	2.830	3.844	3.337
<b>2010</b>	4.236	4.274	4.255
<b>2011</b>	3.165	4.247	3.706
<b>2012</b>	2.667	2.431	2.549
<b>2013</b>	4.190	3.761	3.976
<b>2014</b>	2.915	1.780	2.348
<b>2015</b>	2.803	2.174	2.489
<b>2016</b>	3.458	2.550	3.004

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.5. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Prigen – Bagian 2

Stasiun	Stasiun Prigen	Kumulatif St.Prigen	Stasiun Lain	Kumulatif St.Lain
2007	2.694	2.694	2.239	2.239
2008	3.512	6.206	2.683	4.922
2009	3.823	10.029	3.337	8.259
2010	5.771	15.800	4.255	12.514
2011	4.093	19.893	3.706	16.220
2012	2.840	22.733	2.549	18.769
2013	5.144	27.877	3.976	22.744
2014	3.178	31.055	2.348	25.092
2015	3.271	34.326	2.489	27.580
2016	4.188	38.514	3.004	30.584

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017



Gambar 4.1. Grafik uji konsistensi data hujan Stasiun Prigen

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

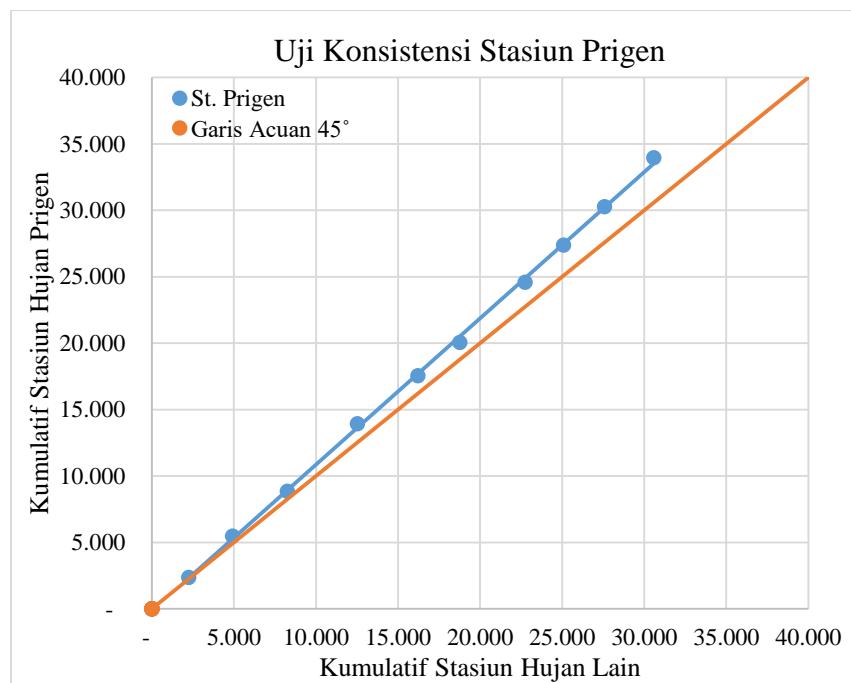
Pada grafik uji konsistensi Stasiun Jawi, terlihat ada patahan (perbedaan kemiringan) pada garis yang terbentuk, sehingga perlu dilakukan koreksi sebagai berikut:

- a. Sudut garis awal  $= \tan^{-1} \alpha_o$   
 $= \tan^{-1} (38.514 / 30.584) = \tan^{-1} (1,26) = 51,5^\circ$
- b. Sudut garis akhir  $= 48,0^\circ$
- c. Faktor koreksi  $= \tan \alpha / \tan \alpha_o$   
 $= \tan 48,0^\circ / \tan 51,1^\circ = 1,11 / 1,26 = 0,88$
- d. Data dikoreksi  $= (2007, 2008, \dots, 2015, 2016) \times FK$   
 $= (2.694; 3.512; \dots; 4.188) \times 0,88 = 2.376; 3.097; \dots; 3.694$

Tabel 4.6. Data Hujan Stasiun Prigen Setelah Dikoreksi

Tahun	Stasiun Prigen	Kumulatif St. Prigen	Stasiun Lain	Kumulatif St. Lain
2007	2.376	2.376	2.239	2.239
2008	3.097	5.473	2.683	4.922
2009	3.372	8.845	3.337	8.259
2010	5.090	13.935	4.255	12.514
2011	3.610	17.545	3.706	16.220
2012	2.505	20.050	2.549	18.769
2013	4.537	24.587	3.976	22.744
2014	2.803	27.390	2.348	25.092
2015	2.885	30.275	2.489	27.580
2016	3.694	33.969	3.004	30.584

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017



Gambar 4.2. Grafik uji konsistensi data hujan Stasiun Prigen setelah dikoreksi

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Langkah yang sama juga diberlakukan pada stasiun lainnya yang dianggap tidak konsisten, yaitu Stasiun Jawi dan Wilo. Setelah kedua stasiun tersebut dikoreksi, Stasiun Prigen perlu dikoreksi sekali lagi agar memenuhi kriteria yang diharapkan. Rekapitulasi hasil uji konsistensi data hujan (telah terkoreksi) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7. Data Curah Hujan Tahunan Setelah Dikoreksi

Tahun	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilu	Prigen	Bekacak
2007	936	1.546	1.563	1.457	2.191	1.682	<b>1.836</b>	<b>2.387</b>	1.541
2008	1.996	1.676	1.934	1.667	2.507	2.033	<b>2.294</b>	<b>3.111</b>	1.654
2009	1.732	1.755	1.646	1.656	2.830	1.987	3.844	<b>3.387</b>	1.393
2010	3.642	2.799	3.582	3.227	4.236	3.622	4.274	<b>5.113</b>	3.537
2011	3.153	2.593	2.312	1.991	3.165	2.965	4.247	<b>3.626</b>	1.938
2012	2.164	1.863	1.903	1.645	2.667	2.262	2.431	<b>2.516</b>	2.026
2013	2.821	2.575	2.681	2.654	4.190	2.974	3.761	<b>4.557</b>	3.126
2014	2.096	1.617	1.683	1.402	<b>2.338</b>	1.799	1.780	<b>2.300</b>	1.576
2015	1.883	1.908	1.540	1.514	<b>2.248</b>	1.772	2.174	<b>2.367</b>	1.544
2016	2.870	2.380	2.218	2.051	<b>2.773</b>	2.774	2.550	<b>3.031</b>	1.778

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### 4.1.2. Uji Stasioner Data Hujan

Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Uji ini bertujuan mengetahui apakah data dari suatu deret berkala bersifat homogen atau tidak. Apabila deret data bersifat tidak homogen, maka artinya deret data tersebut dikatakan tidak stasioner.

##### a. Uji-F (Uji Kestabilan Varian)

Langkah-langkah perhitungan Uji-F adalah sebagai berikut:

1. Bagi deret data menjadi 2 kelompok

Tabel 4.8. Data Hujan Stasiun Jawi Kelompok I

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	2007	2.191
2	2008	2.507
3	2009	2.830
4	2010	4.236
5	2011	3.165
<b>Jumlah</b>		11.459
<b>N<sub>1</sub></b>		5
<b>X̄<sub>1</sub></b>		2.985,8
<b>S<sub>1</sub></b>		787,5

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.9. Data Hujan Stasiun Jawi Kelompok II

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	2012	2.667
2	2013	3.560
3	2014	2.477
4	2015	2.381
5	2016	2.938
<b>Jumlah</b>		11.834
<b>N<sub>2</sub></b>		5
<b>X̄<sub>2</sub></b>		2.804,6
<b>S<sub>2</sub></b>		472,8

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

2. Cari nilai F<sub>hitung</sub> menggunakan persamaan 2-30

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 \cdot (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 \cdot (N_1 - 1)} = \frac{5 \cdot 787,5^2 \cdot (5 - 1)}{5 \cdot 472,8^2 \cdot 5 - 1} = 2,44$$

3. Bandingkan nilai  $F_{hitung}$  terhadap  $F_{cr}$

Pada pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan  $\alpha = 5\%$ , dimana  $dk_1 = N_1 - 1 = 4$ ,  $dk_2 = N_2 - 1 = 4$ , didapatkan  $F_{cr} = 6,39$  (lihat Tabel 2.4). Karena nilai  $F_{hitung} < F_{cr}$  ( $2,44 < 6,39$ ), maka tidak ada alasan untuk menolak hipotesa nol, bahwa nilai variannya stabil. Dengan kata lain, deret data berkala tersebut homogen.

Langkah yang sama juga diberlakukan pada semua stasiun lainnya. Rekapitulasi hasil perhitungan uji F adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10. Rekapitulasi Perhitungan Uji-F

No.	Stasiun	Kel.	X	Sd	$F_{hitung}$	$F_{cr}$	Hipotesa
1	Winong	I	2.292	1.096	2,44	6,39	Diterima
		II	2.367	449			
2	Bareng	I	2.074	577	1,46	6,39	Diterima
		II	2.069	395			
3	Randupitu	I	2.207	822	1,80	6,39	Diterima
		II	2.005	456			
4	Tanggul	I	2.000	712	1,40	6,39	Diterima
		II	1.853	510			
5	Jawi	I	2.986	787	1,67	6,39	Diterima
		II	2.805	473			
6	Kasri	I	2.458	809	1,47	6,39	Diterima
		II	2.316	550			
7	Wilo	I	2.818	989	1,33	6,39	Diterima
		II	2.539	744			
8	Prigen	I	3.979	1.131	1,21	6,39	Diterima
		II	3.724	938			
9	Bekacak	I	2.013	875	1,56	6,39	Diterima
		II	2.148	561			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan Uji-F pada Tabel 4.10, dapat disimpulkan bahwa data hujan dari semua stasiun variannya stabil pada derajat kepercayaan 5%.

### b. Uji-T (Uji Kestabilan Rata-Rata)

Langkah-langkah perhitungan Uji-T adalah sebagai berikut:

1. Bagi deret data menjadi 2 kelompok seperti pada Tabel 4.8 dan 4.9
2. Cari nilai  $\sigma$  menggunakan persamaan 2-32

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 787,5^2 + 5 \cdot 472,8^2}{5 + 5 - 2}} = 726,1$$

3. Cari nilai  $t_{hitung}$  menggunakan persamaan 2-31

$$t_{hitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{2.985,8 - 2.804,6}{726,1 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 0,39$$

4. Bandingkan nilai  $t_{hitung}$  terhadap  $t_{cr}$

Pada pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan  $\alpha = 5\%$ , dimana  $d_k = N_1 + N_2 - 2 = 8$ , didapatkan  $t_{cr} = 1,86$ . Karena nilai  $t_{hitung} < t_{cr}$  ( $0,39 < 1,86$ ), maka tidak ada alasan untuk menolak hipotesa nol, bahwa nilai rata-ratanya stabil. Dengan kata lain, deret data berkala tersebut homogen.

Langkah yang sama juga diberlakukan pada semua stasiun lainnya. Rekapitulasi hasil perhitungan Uji-T adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11. Rekapitulasi Perhitungan Uji-T

No.	Stasiun	Kel.	X	Sd	$t_{hitung}$	$t_{cr}$	Hipotesa
1	Winong	I	2.292	1.096	0,13	1,86	Diterima
		II	2.367	449			
2	Bareng	I	2.074	577	0,01	1,86	Diterima
		II	2.069	395			
3	Randupitu	I	2.207	822	0,43	1,86	Diterima
		II	2.005	456			
4	Tanggul	I	2.000	712	0,33	1,86	Diterima
		II	1.853	510			
5	Jawi	I	2.986	787	0,39	1,86	Diterima
		II	2.805	473			
6	Kasri	I	2.458	809	0,29	1,86	Diterima
		II	2.316	550			
7	Wilo	I	2.818	989	0,45	1,86	Diterima
		II	2.539	744			
8	Prigen	I	3.979	1.131	0,35	1,86	Diterima
		II	3.724	938			
9	Bekacak	I	2.013	875	0,26	1,86	Diterima
		II	2.148	561			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan Uji-T pada Tabel 4.11, dapat disimpulkan bahwa data hujan dari semua stasiun rata-ratanya stabil pada derajat kepercayaan 5%.

#### 4.1.3. Uji Outlier Data Hujan

Data curah hujan yang diperoleh diuji abnormalitasnya untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada dapat digunakan. Adapun langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut (contoh perhitungan Stasiun Prigen):

Tabel 4.12. Data Hujan Bulanan Stasiun Prigen Terurut Waktu

No.	CH	No.	CH	No.	CH	No.	CH	No.	CH
1	128	25	1249	49	406	73	726	97	459
2	403	26	313	50	377	74	629	98	580
3	537	27	372	51	810	75	677	99	429
4	501	28	229	52	479	76	539	100	283
5	123	29	573	53	295	77	377	101	216
6	94	30	193	54	66	78	606	102	1
7	63	31	5	55	129	79	181	103	1
8	0	32	0	56	0	80	0	104	0
9	7	33	0	57	100	81	0	105	0
10	7	34	0	58	6	82	0	106	0
11	158	35	100	59	498	83	316	107	51
12	367	36	353	60	460	84	507	108	347
13	579	37	865	61	572	85	297	109	311
14	736	38	636	62	536	86	470	110	483
15	557	39	456	63	415	87	332	111	260
16	77	40	667	64	290	88	438	112	363
17	87	41	510	65	120	89	114	113	226
18	11	42	242	66	73	90	119	114	187
19	0	43	39	67	0	91	77	115	210
20	49	44	133	68	0	92	9	116	43
21	0	45	219	69	0	93	0	117	79
22	54	46	261	70	0	94	0	118	246
23	298	47	338	71	84	95	20	119	198
24	664	48	747	72	426	96	424	120	423

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

- a. Data diurutkan dari yang terbesar ke terkecil atau sebaliknya (X). Data yang bernilai 0 (bulan kering) dapat langsung dibuang, karena sudah pasti merupakan *outlier*. Apabila ada salah satu stasiun hujan yang memiliki data 0, maka data stasiun hujan lain pada bulan yang sama juga harus dieliminasi.

Tabel 4.13. Data Hujan Bulanan Stasiun Prigen Terurut Nilai

No.	CH	No.	CH	No.	CH	No.	CH
1	39	25	246	49	424	73	636
2	51	26	260	50	426	74	664
3	54	27	261	51	429	75	667
4	73	28	283	52	438	76	677
5	77	29	290	53	456	77	726
6	79	30	295	54	459	78	736
7	87	31	297	55	460	79	747
8	94	32	298	56	470	80	810
9	100	33	311	57	479	81	865
10	114	34	313	58	483	82	1249

Lanjutan Tabel 4.13 Data Hujan Bulanan Stasiun Prigen Terurut Nilai

No.	CH	No.	CH	No.	CH	No.	CH
11	120	35	316	59	498		
12	123	36	332	60	501		
13	128	37	338	61	507		
14	133	38	347	62	510		
15	181	39	353	63	536		
16	187	40	363	64	537		
17	193	41	367	65	539		
18	198	42	372	66	557		
19	210	43	377	67	572		
20	216	44	377	68	573		
21	219	45	403	69	579		
22	226	46	406	70	580		
23	229	47	415	71	606		
24	242	48	423	72	629		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

- b. Menghitung harga Y dimana:

$$Y = \log X \quad (3-1)$$

$$Y_1 = \log(X_1) = \log 39 = 1,591$$

$$Y_2 = \log(X_2) = \log 51 = 1,708$$

$$Y_{81} = \log(X_{81}) = \log 265 = 2,937$$

$$Y_{82} = \log(X_{82}) = \log 1249 = 3,097$$

- c. Menghitung Y rerata ( $\bar{Y}$ )

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{81} + Y_{82}}{n} = \frac{204,5}{82} = 2,494$$

- d. Menghitung deviasi standar Sy

$$Sy = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0,313$$

- e. Menentukan harga Kn sesuai jumlah data (lihat Tabel 2.7)

Untuk n = 82, didapatkan nilai Kn = 2,948

- f. Menghitung batas atas dan batas bawah harga abnormalitas data:

$$Y_H = \bar{X} + Kn \cdot Sy \bar{X} = 2,494 + 2,948 \cdot 0,313 = 3,415$$

$$X_H = 10^{Y_H} = 10^{3,415} = 2.600$$

$$Y_L = \bar{X} + Kn \cdot Sy = 2,494 - 2,948 \cdot 0,313 = 1,572$$

$$X_L = 10^{Y_L} = 10^{1,572} = 37$$

- g. Menentukan data yang dapat dipakai atau tidak dapat dipakai sesuai dengan batas atas dan batas bawah abnormalitas data.

Pada perhitungan di atas, nampak data Stasiun Prigen tidak memiliki outlier sama sekali. Namun, apabila pada stasiun lain terdapat data outlier yang harus dieliminasi, maka data stasiun lain pada waktu (bulan) yang sama juga harus ikut dieliminasi.

#### 4.1.4. Uji Konsistensi Data Debit

Data debit AWLR akan diuji kepanggahannya (konsistensi) menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode ini menguji kepanggahan data suatu stasiun berdasarkan data dari stasiun itu sendiri, dengan mendeteksi pergeseran nilai rata-ratanya. Langkah-langkah perhitungan uji konsistensi data debit adalah sebagai berikut (Persamaan 2-23 s.d. 2-29):

Tabel 4.14. Data Debit AWLR Kadaplang

Tahun	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Debit (juta m <sup>3</sup> )	46,45	49,57	76,21	179,23	132,13	185,49	345,27	137,20	21,05	21,56

Sumber: Balai Wilayah Sungai Gembong Pekalen, 2017

1. Menghitung nilai rata-rata debit tahunan

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} = \frac{46,4 + 49,6 + 76,2 + \dots + 21,6}{10} = \frac{1.194,2}{10} = 119,42$$

2. Menghitung nilai Sk\*

$$Sk*_{11} = Y_i - \bar{Y} = (46,45 - 119,42) = -72,97$$

3. Menghitung nilai  $(Sk*)^2$

$$(Sk*)^2_{11} = (-72,97)^2 = 5.325$$

4. Menghitung nilai Dy<sup>2</sup>

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Sk*)^2}{n} = \frac{5.325 + 4.897 + 1.867 + \dots + 9.575}{10} = \frac{90.755}{10} = 9.076$$

5. Menghitung nilai Dy

$$Dy = \sqrt{Dy^2} = \sqrt{9.076} = 95,27$$

6. Menghitung nilai Sk\*\*

$$Sk**_{11} = \frac{Sk*_{11}}{Dy} = \frac{-72,97}{95,27} = -0,766$$

7. Menghitung nilai |Sk \*\*|

$$|Sk**_{11}| = |-0,766| = 0,766$$

8. Menentukan nilai Sk\*\* maksimum

$$Sk**_{maks} = 2,371$$

9. Menentukan nilai Sk\*\* minimum

$$Sk**_{min} = -1,027$$

10. Menghitung nilai  $\sigma$ , kemudian menghitung  $\sigma / \sqrt{n}$

$$\sigma = |Sk^{**}|_{\text{maks}} = 2,371$$

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2,371}{\sqrt{10}} = 0,750$$

11. Menghitung nilai R, kemudian menghitung  $R/\sqrt{n}$

$$R = Sk^{**}_{\text{maks}} - Sk^{**}_{\text{min}} = 2,371 - (-1,027) = 3,403$$

12. Bandingkan nilai  $\sigma / \sqrt{n}_{\text{hitung}}$  dan  $R/\sqrt{n}_{\text{hitung}}$  dengan nilai  $\sigma / \sqrt{n}$  kritis dan  $R/\sqrt{n}$  kritis yang didapatkan dari Tabel 2.3 pada probabilitas 95% diterima.

$$\sigma / \sqrt{n}_{\text{hitung}} < \sigma / \sqrt{n} \text{ kritis} (0,750 < 1,14)$$

$$R/\sqrt{n}_{\text{hitung}} < R/\sqrt{n} \text{ kritis} (1,076 < 1,28)$$

Karena nilai  $Q/\sqrt{n}$  hitung dan  $R/\sqrt{n}$  hitung kurang dari  $Q/\sqrt{n}$  kritis dan  $R/\sqrt{n}$  kritis, maka data masih berada dalam batasan konsisten. Perhitungan selengkapnya disajikan pada Tabel 4.15:

Tabel 4.15. Perhitungan Uji Konsistensi Data Debit AWLR Kadaplang

No.	Tahun	Yi	Sk*	Sk* <sup>2</sup>	Sk**	Sk**
1	2007	46,45	-72,97	5.325	-0,766	0,766
2	2008	49,57	-69,85	4.879	-0,733	0,733
3	2009	76,21	-43,21	1.867	-0,454	0,454
4	2010	179,23	59,82	3.578	0,628	0,628
5	2011	132,13	12,71	162	0,133	0,133
6	2012	185,49	66,07	4.365	0,694	0,694
7	2013	345,27	225,86	51.012	2,371	2,371
8	2014	137,20	17,78	316	0,187	0,187
9	2015	21,05	-98,37	9.676	-1,033	1,033
10	2016	21,56	-97,85	9.575	-1,027	1,027
Jumlah		1194,2		90.755		
Rerata		119,42		9.076		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### 4.1.5. Uji Stasioner Data Debit

Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Uji ini bertujuan mengetahui apakah data dari suatu deret berkala bersifat homogen atau tidak. Apabila deret data bersifat tidak homogen, maka artinya deret data tersebut dikatakan tidak stasioner.

##### A. Uji-F (Uji Kestabilan Varian)

Langkah-langkah perhitungan Uji-F adalah sebagai berikut:

1. Bagi deret data menjadi 2 kelompok

Tabel 4.16. Data Debit AWLR

## Kadal pang Kelompok I

No.	Tahun	Debit (juta m <sup>3</sup> )
1	2007	46,45
2	2008	49,57
3	2009	76,21
4	2010	179,23
5	2011	132,13
<b>Jumlah</b>		483,58
<b>N<sub>1</sub></b>		5
<b>X̄<sub>1</sub></b>		96,72
<b>S<sub>1</sub></b>		57,52

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.17. Data Debit AWLR

## Kadal pang Kelompok II

No.	Tahun	Debit (juta m <sup>3</sup> )
1	2012	185,49
2	2013	345,27
3	2014	137,20
4	2015	21,05
5	2016	21,56
<b>Jumlah</b>		710,57
<b>N<sub>2</sub></b>		5
<b>X̄<sub>2</sub></b>		142,11
<b>S<sub>2</sub></b>		134,51

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

2. Cari nilai  $F_{\text{hitung}}$  menggunakan persamaan 2-30

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 \cdot (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 \cdot (N_1 - 1)} = \frac{5 \cdot 57,52^2 \cdot (5 - 1)}{5 \cdot 134,51^2 \cdot 5 - 1} = 0,43$$

3. Bandingkan nilai  $F_{\text{hitung}}$  terhadap  $F_{\text{cr}}$

Pada pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan  $\alpha = 5\%$ , dimana  $d_k = N_1 - 1 = 4$ ,  $d_k = N_2 - 1 = 4$ , didapatkan  $F_{\text{cr}} = 6,39$  (lihat Tabel 2.4). Karena nilai  $F_{\text{hitung}} < F_{\text{cr}}$  ( $0,43 < 6,39$ ), maka tidak ada alasan untuk menolak hipotesa nol, bahwa nilai variannya stabil. Dengan kata lain, deret data berkala tersebut homogen.

## B. Uji-T (Uji Kestabilan Rata-Rata)

Langkah-langkah perhitungan Uji-T adalah sebagai berikut:

1. Bagi deret data menjadi 2 kelompok seperti pada Tabel 4.16 dan 4.17
2. Cari nilai  $\sigma$  menggunakan persamaan 2-32

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 \cdot S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 57,52^2 + 5 \cdot 134,51^2}{5 + 5 - 2}} = 115,65$$

3. Cari nilai  $t_{\text{hitung}}$  menggunakan persamaan 2-31

$$t_{\text{hitung}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{96,72 - 142,11}{115,65 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 0,62$$

4. Bandingkan nilai  $t_{\text{hitung}}$  terhadap  $t_{\text{cr}}$

Pada pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan  $\alpha = 5\%$ , dimana  $d_k = N_1 + N_2 - 2 = 8$ , didapatkan  $t_{\text{cr}} = 1,86$ . Karena nilai  $t_{\text{hitung}} < t_{\text{cr}}$  ( $0,62 < 1,86$ ), maka tidak ada alasan untuk menolak hipotesa nol, bahwa nilai rata-ratanya stabil. Dengan kata lain, deret data berkala tersebut homogen.

#### **4.2. Evaluasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan**

Tujuan dari evaluasi kerapatan jaringan stasiun hujan adalah untuk menentukan jumlah optimal stasiun hujan yang dibutuhkan dalam suatu DAS. Evaluasi kerapatan pada studi ini akan dilakukan dengan beberapa metode yang sudah umum digunakan.

##### **4.2.1. Standar WMO**

Menurut standar yang diberikan oleh WMO, dataran pegunungan tropis cukup diwakili 1 stasiun hujan saja tiap luasan 100-250 Km<sup>2</sup>. Berdasarkan Tabel 2.1, maka jumlah stasiun yang dibutuhkan pada DAS seluas 86,4 Km<sup>2</sup> dengan daerah pegunungan tropis adalah 1 stasiun saja. Dengan menggunakan metode Poligon Thiessen, maka kita dapat memeriksa kesesuaian tiap stasiun hujan sebagai berikut:

**Tabel 4.18. Kerapatan Jaringan dengan Standar WMO**

<b>Nama Stasiun</b>	<b>Luas Pengaruh (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Koefisien</b>
Jawi	13,1	15,1%
Prigen	34,6	40,1%
Wilo	14,1	16,4%
Kasri	8,4	9,8%
Bareng	0,4	0,5%
Winong	0,4	0,5%
Tanggul	11,3	13,1%
Bekacak	1,9	2,2%
Randupitu	2,1	2,4%
<b>Total</b>	<b>86,4</b>	<b>100%</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan Tabel 4.18, semua stasiun hujan yang berada di DAS Kadelpang telah memenuhi standar minimum yang diberikan oleh WMO. Hal ini sangat wajar mengingat jumlah stasiun yang ada pada saat ini berjumlah 9 buah dari standar minimum yang ada sebanyak 1 buah saja.

##### **4.2.2. Cara Sugawara**

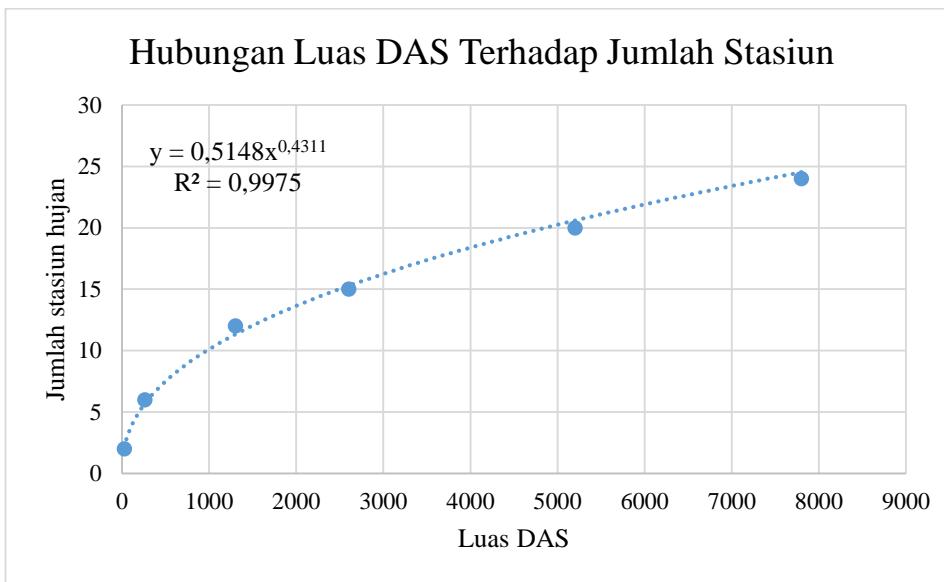
Berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh Sugawara, maka jumlah stasiun yang dibutuhkan pada DAS seluas 86,4 Km<sup>2</sup> adalah 10 atau 15 buah stasiun hujan.

##### **4.2.3. Cara Bleasdale**

Berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh Bleasdale (Tabel 2.2), maka jumlah stasiun yang dibutuhkan pada DAS seluas 86,4 Km<sup>2</sup> adalah 4 buah stasiun hujan. Nilai ini

didapatkan dari interpolasi non-linier menggunakan fungsi persamaan kuadrat yang diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut:

1. Membuat grafik hubungan antara Luas DAS terhadap jumlah stasiun sesuai data yang terdapat pada Tabel 2.2.



Gambar 4.3. Hubungan luas DAS terhadap jumlah stasiun cara Bleasdale

2. Pilih persamaan regresi terbaik (regresi dengan nilai  $R^2$  terbesar atau yang nilainya paling mendekati 1), dalam contoh ini didapatkan regresi berpangkat.
3. Memasukkan luas DAS Kadaplang sebagai variabel x sehingga didapatkan jumlah stasiun hujan optimal sebagai variabel y.

$$y = 0.5148 x^{0.4311}$$

$$y = 0.5148 (86,4)^{0.4311}$$

$$y = 3,52 = 4 \text{ buah}$$

4. Jumlah stasiun hujan yang diperlukan adalah 4 buah

#### 4.2.4. Cara Varshney

Perhitungan jumlah stasiun yang dibutuhkan pada DAS Kadaplang menggunakan cara Varshney adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1. \quad P_1 &= \frac{P_{2007} + P_{2008} + P_{2009} + \dots + P_{2016}}{10} \\ &= \frac{936 + 1546 + 1732 + \dots + 2329}{10} = \frac{23.293}{10} = 2.329 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad P_t &= P_1 + P_2 + \dots + P_n \\ &= 2.329 + 2.071 + 2.106 + 1.926 + 2.915 + 2.387 + 2.919 + 3.240 + 2.011 \\ &= 21.905 \end{aligned}$$

3.  $P_m = \frac{P_t}{n} = \frac{21.905}{9} = 2.434$
4.  $Ss = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \dots + P_n^2$   
 $= 2.329^2 + 2.071^2 + 2.106^2 + 1.926^2 + 2.915^2 + 2.387^2 + 2.919^2 +$   
 $3.240^2 + 2.011^2 = 55.115.515$
5.  $S^2 = \left( \sqrt{\frac{Ss}{n-1}} \right) - P_m = \left( \sqrt{\frac{55.115.515}{9-1}} \right) - 2.434 = 191,9$
6.  $Cv = \left( \sqrt{\frac{S^2}{P_m}} \right) \times 100\% = \left( \sqrt{\frac{190,9}{2.434}} \right) \times 100\% = 0,280$
7.  $N = \left[ \frac{Cv}{P} \right]^2 = \left[ \frac{0,280}{0,10} \right]^2 = 7,8 = 8 \text{ buah stasiun}$

*Catatan: nilai P (ketelitian) diambil sebesar 10%*

8.  $N - n = 9 - 8 = 1 \text{ buah}$

Berdasarkan metode perhitungan yang diberikan oleh Varshney, maka jumlah stasiun yang dibutuhkan pada Sub DAS Kadalpang adalah 8 buah stasiun hujan atau terdapat pengurangan stasiun hujan sebesar 1 buah.

Secara umum, semua metode mulai dari standar WMO hingga cara Varshney menunjukkan hasil yang berbeda terhadap kondisi kerapatan jaringan stasiun hujan di Sub DAS Kadalpang saat ini, mulai pengurangan stasiun hujan, hingga penambahan stasiun hujan. Standar yang diberikan oleh WMO merupakan standar minimum keberadaan stasiun hujan. Cara yang diusulkan oleh Sugawara dianggap kurang sesuai, mengingat cara yang digunakan tidak memperhatikan aspek luasan DAS, selain itu metode Jaringan Saraf Tiruan juga tidak dapat digunakan untuk merencanakan penambahan stasiun baru. Cara yang dikemukakan oleh Varshney menunjukkan bahwa kerapatan jaringan saat ini sedikit berlebihan, karena hanya mengurangi 1 stasiun. Cara yang dianggap *moderate* adalah cara Bleasdale, dimana kondisi kerapatan DAS pada saat ini cukup diwakili oleh 4 stasiun saja.

Apabila cara Bleasdale dijadikan acuan, maka kesimpulan yang didapatkan adalah bahwa pada saat ini perkembangan jaringan stasiun hujan di DAS Kadalpang sudah mencapai fase "*Network Phase 3*" atau "*Reduction Phase*", dimana informasi yang tersedia sudah berlebihan sehingga hanya akan mempertinggi biaya operasional. Oleh karena itu, analisis selanjutnya akan mengkaji pemilihan stasiun-stasiun yang kurang berpengaruh sehingga dapat dieliminasi.

### 4.3. Analisis Pola Penyebaran Jaringan Stasiun Hujan

Langkah berikutnya yang perlu dilakukan setelah mendapatkan kondisi kerapatan jaringan yang dikehendaki adalah menganalisis pola persebaran stasiun hujan yang ada. Pada sub-bab 4.2, didapatkan angka-angka berkaitan jumlah stasiun hujan yang diperlukan keberadaannya. Analisis pola penyebaran bertujuan untuk memilih stasiun-stasiun hujan mana saja yang perlu dipertahankan dan dieliminasi. Untuk mempermudah penggerjaan analisis dalam studi ini, maka dibuatlah gagasan tentang alternatif pola penyebaran jaringan stasiun hujan, yaitu menggunakan metode jaringan saraf tiruan secara utuh, metode jaringan saraf tiruan dengan jumlah stasiun hujan ditentukan, dan metode jaringan saraf tiruan dengan jumlah stasiun hujan ditentukan serta zonasi daerah.

#### 4.3.1. Metode Jaringan Saraf Tiruan Secara Utuh

Berdasarkan studi yang sudah dilakukan oleh Syarief Fathoni (2016), jaringan saraf tiruan mampu memberikan solusi terhadap evaluasi kerapatan beserta pola penyebaran jaringan stasiun hujan dalam suatu DAS. Adapun prinsip yang digunakan adalah dengan mencoba semua kemungkinan kombinasi stasiun hujan yang dapat terjadi hingga batas minimum yang diberikan oleh WMO.

Pada studi ini, DAS Kadpalang yang menjadi daerah kajian memiliki luas 86,4 Km<sup>2</sup> dengan jumlah 9 buah stasiun hujan yang memiliki pengaruh terhadap hujan rerata daerah. Dengan demikian, maka jumlah stasiun hujan minimum berdasarkan standar WMO adalah sebanyak 1 buah stasiun saja. Apabila dihitung jumlah kombinasi yang harus dicoba secara matematis menggunakan persamaan kombinasi (tanpa memperhatikan urutan), maka nilainya adalah:

Tabel 4.19. Jumlah Kombinasi dengan Metode JST Secara Utuh

No.	Jumlah Stasiun Awal	Pengurangan Stasiun	Jumlah Stasiun Akhir	Jumlah Kombinasi
1	9	1	8	9
2	9	2	7	36
3	9	3	6	84
4	9	4	5	126
5	9	5	4	126
6	9	6	3	84
7	9	7	2	36
8	9	8	1	9
Total				510

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Cara ini merupakan cara terbaik untuk memenuhi kebutuhan data hidrologi dengan ketelitian yang sangat tinggi. Namun, berdasarkan perhitungan di atas, 510 buah kombinasi merupakan jumlah yang cukup besar. Pada praktiknya, cara ini tentu akan menyita tenaga serta waktu yang luar biasa, sehingga dipandang bukanlah cara terbaik. Selain itu, pengurangan stasiun dalam jumlah yang signifikan nampaknya juga tidak akan bisa dengan mudah diaplikasikan pada kenyataan. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan cara lain untuk mempermudah proses perhitungan serta bersifat lebih aplikatif.

#### **4.3.2. Metode Jaringan Saraf Tiruan dengan Jumlah Stasiun Ditentukan**

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperkecil jumlah kombinasi yang harus dilakukan dalam studi ini adalah dengan menetapkan kerapatan jaringan (jumlah stasiun optimal) menggunakan metode lain, kemudian menentukan pola penyebaran jaringan (pemilihan stasiun) menggunakan jaringan saraf tiruan. Pada sub bab 4.2 telah dibahas mengenai analisis kerapatan jaringan di DAS Kadaplang menggunakan metode-metode yang terdapat di beberapa literatur. Berdasarkan jumlah stasiun yang sudah ditetapkan tersebut, kita dapat mengurangi jumlah kombinasi yang harus dilakukan sesuai dengan hasil analisis kerapatan jaringan. Nilai selengkapnya disajikan pada Tabel 4.20:

Tabel 4.20. Jumlah Kombinasi dengan Metode Lain

No.	Standar	Pendekatan	Jumlah Stasiun	Jumlah Kombinasi
1	WMO	Empiris	1	9
2	Sugawara	Empiris	10 / 15	-
3	Bleasdale	Empiris	4	126
4	Varshney	Statistik	8	9

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Cara kedua ini dinilai cukup praktis, karena mampu mengurangi jumlah kombinasi secara signifikan dibandingkan dengan cara pertama. Akan tetapi, apabila nilai yang dihasilkan dirasa masih terlalu besar, perlu dipikirkan cara lain untuk menyempurnakan cara kedua ini agar lebih mudah dilaksanakan.

Kedua metode di atas memberikan hasil yang berbeda-beda, lengkap beserta kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Dengan mempertimbangkan keduanya, maka dalam studi ini diputuskan untuk melakukan percobaan kombinasi dengan mengurangi satu per satu stasiun hingga minimal 4 stasiun seperti yang disarankan oleh Bleasdale.

#### 4.4. Perencanaan Jaringan Stasiun Hujan yang Baru

Pada sub bab 4.3 telah ditentukan bahwa kombinasi jaringan yang akan digunakan pada studi ini merupakan perpaduan antara metode yang biasa digunakan oleh JST dengan metode Bleasdale. Sehingga, terdapat jumlah total kombinasi jaringan stasiun hujan sebanyak 381 buah yang perlu dianalisa.

Tabel 4.21. Jumlah Kombinasi Jaringan

No.	Jumlah Stasiun Awal	Pengurangan Stasiun	Jumlah Stasiun Akhir	Jumlah Kombinasi
1	9	1	8	9
2	9	2	7	36
3	9	3	6	84
4	9	4	5	126
5	9	5	4	126
Total				381

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Daftar kombinasi lebih detail tentang penamaan dan penggunaan stasiun hujan disajikan secara lengkap pada Tabel 4.22 – Tabel 4.26.

Tabel 4.22. Daftar Kombinasi 8 Stasiun (9 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
001	1	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[001] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr
002	2	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[002] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
003	3	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[003] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
004	4	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[004] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
005	5	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[005] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
006	6	Wn	Br	Rp	-	JW	KS	Wl	PR	Bk	[006] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
007	7	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[007] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
008	8	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[008] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
009	9	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[009] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.23. Daftar Kombinasi 7 Stasiun (36 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
010	1	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[010] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl
011	2	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[011] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk
012	3	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[012] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk
013	4	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[013] Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk
014	5	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[014] Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk
015	6	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[015] Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
016	7	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[016] Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
017	8	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[017] Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
018	9	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[018] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr
019	10	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[019] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk
020	11	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[020] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk
021	12	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[021] Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk
022	13	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[022] Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
023	14	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[023] Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
024	15	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[024] Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
025	16	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[025] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr
026	17	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[026] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk
027	18	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[027] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk
028	19	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[028] Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
029	20	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[029] Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
030	21	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[030] Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
031	22	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[031] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr
032	23	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[032] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk
033	24	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[033] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
034	25	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[034] Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
035	26	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[035] Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
036	27	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[036] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr
037	28	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[037] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
038	29	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[038] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
039	30	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[039] Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
040	31	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[040] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr
041	32	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[041] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
042	33	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[042] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
043	34	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[043] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr
044	35	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[044] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
045	36	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[045] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.24. Daftar Kombinasi 6 Stasiun (84 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
046	1	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[046] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks
047	2	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[047] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Bk
048	3	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[048] Wn-Br-Rp-Tg-Pr-Bk
049	4	Wn	Br	Rp	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[049] Wn-Br-Rp-Wl-Pr-Bk
050	5	Wn	Br	-	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[050] Wn-Br-Ks-Wl-Pr-Bk
051	6	Wn	-	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[051] Wn-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
052	7	-	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[052] Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
053	8	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[053] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl
054	9	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[054] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Bk
055	10	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[055] Wn-Br-Rp-Jw-Pr-Bk
056	11	Wn	Br	-	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[056] Wn-Br-Tg-Wl-Pr-Bk
057	12	Wn	-	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[057] Wn-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk
058	13	-	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[058] Br-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
059	14	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[059] Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Pr
060	15	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[060] Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Bk
061	16	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[061] Wn-Br-Rp-Ks-Pr-Bk
062	17	Wn	Br	-	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[062] Wn-Br-Jw-Wl-Pr-Bk
063	18	Wn	-	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[063] Wn-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
064	19	-	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[064] Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk
065	20	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[065] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl
066	21	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[066] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Bk
067	22	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[067] Wn-Br-Tg-Jw-Pr-Bk
068	23	Wn	-	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[068] Wn-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk
069	24	-	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[069] Br-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk
070	25	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[070] Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Pr
071	26	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[071] Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Bk
072	27	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[072] Wn-Br-Tg-Ks-Pr-Bk
073	28	Wn	-	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[073] Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk
074	29	-	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[074] Br-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
075	30	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[075] Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Pr
076	31	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[076] Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Bk
077	32	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[077] Wn-Br-Jw-Ks-Pr-Bk
078	33	Wn	-	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[078] Wn-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
079	34	-	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[079] Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
080	35	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[080] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl
081	36	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[081] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Bk
082	37	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[082] Wn-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk
083	38	-	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[083] Br-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk
084	39	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[084] Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Pr
085	40	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[085] Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Bk
086	41	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[086] Wn-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk
087	42	-	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[087] Br-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk
088	43	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[088] Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Pr
089	44	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[089] Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Bk

Lanjutan Tabel 4.24 Daftar Kombinasi 6 Stasiun (84 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
090	45	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[090] Wn-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk
091	46	-	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[091] Br-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
092	47	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[092] Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Pr
093	48	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[093] Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Bk
094	49	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[094] Wn-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
095	50	-	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[095] Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
096	51	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[096] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl
097	52	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[097] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk
098	53	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[098] Br-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk
099	54	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[099] Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Pr
100	55	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[100] Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk
101	56	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[101] Br-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk
102	57	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[102] Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Pr
103	58	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[103] Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk
104	59	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[104] Br-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk
105	60	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[105] Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Pr
106	61	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[106] Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk
107	62	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[107] Br-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
108	63	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[108] Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Pr
109	64	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[109] Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
110	65	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[110] Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
111	66	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[111] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl
112	67	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[112] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk
113	68	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[113] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr
114	69	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[114] Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk
115	70	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[115] Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr
116	71	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[116] Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk
117	72	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[117] Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr
118	73	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[118] Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk
119	74	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[119] Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr
120	75	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[120] Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
121	76	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[121] Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr
122	77	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[122] Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
123	78	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[123] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr
124	79	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[124] Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr
125	80	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[125] Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr
126	81	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[126] Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr
127	82	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[127] Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr
128	83	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[128] Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr
129	84	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[129] Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.25. Daftar Kombinasi 5 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
130	1	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	-	-	[130] Wn-Br-Rp-Tg-Jw
131	2	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	-	-	Bk	[131] Wn-Br-Rp-Tg-Bk
132	3	Wn	Br	Rp	-	-	-	-	Pr	Bk	[132] Wn-Br-Rp-Pr-Bk
133	4	Wn	Br	-	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[133] Wn-Br-Wl-Pr-Bk
134	5	Wn	-	-	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[134] Wn-Ks-Wl-Pr-Bk
135	6	-	-	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	[135] J-Ks-Wl-Pr-Bk
136	7	Wn	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	-	-	[136] Wn-Br-Rp-Tg-Ks
137	8	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	-	-	Bk	[137] Wn-Br-Rp-Jw-Bk
138	9	Wn	Br	-	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[138] Wn-Br-Tg-Pr-Bk
139	10	Wn	-	Rp	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[139] Wn-Rp-Wl-Pr-Bk
140	11	-	Br	-	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[140] Br-Ks-Wl-Pr-Bk
141	12	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	-	-	[141] Wn-Br-Rp-Tg-Wl
142	13	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	-	-	Bk	[142] Wn-Br-Rp-Ks-Bk
143	14	Wn	Br	-	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[143] Wn-Br-Jw-Pr-Bk
144	15	Wn	-	-	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[144] Wn-Tg-Wl-Pr-Bk
145	16	-	-	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[145] Rp-Ks-Wl-Pr-Bk
146	17	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	-	Pr	-	[146] Wn-Br-Rp-Tg-Pr
147	18	Wn	Br	Rp	-	-	-	Wl	-	Bk	[147] Wn-Br-Rp-Wl-Bk
148	19	Wn	Br	-	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[148] Wn-Br-Ks-Pr-Bk
149	20	Wn	-	-	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[149] Wn-Jw-Wl-Pr-Bk
150	21	-	-	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[150] Tg-Ks-Wl-Pr-Bk
151	22	Wn	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	-	-	[151] Wn-Br-Rp-Jw-Ks
152	23	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[152] Wn-Br-Tg-Jw-Bk
153	24	Wn	-	Rp	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[153] Wn-Rp-Tg-Pr-Bk
154	25	-	Br	Rp	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[154] Br-Rp-Wl-Pr-Bk
155	26	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	-	-	[155] Wn-Br-Rp-Jw-Wl
156	27	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[156] Wn-Br-Tg-Ks-Bk
157	28	Wn	-	Rp	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[157] Wn-Rp-Jw-Pr-Bk
158	29	-	Br	-	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[158] Br-Tg-Wl-Pr-Bk
159	30	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	-	-	[159] Wn-Br-Rp-Ks-Wl
160	31	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[160] Wn-Br-Jw-Ks-Bk
161	32	Wn	-	-	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[161] Wn-Tg-Jw-Pr-Bk
162	33	-	-	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[162] Rp-Tg-Wl-Pr-Bk
163	34	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	-	Pr	-	[163] Wn-Br-Rp-Jw-Pr
164	35	Wn	Br	-	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[164] Wn-Br-Tg-Wl-Bk
165	36	Wn	-	Rp	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[165] Wn-Rp-Ks-Pr-Bk
166	37	-	Br	-	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[166] Br-Jw-Wl-Pr-Bk
167	38	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	-	Pr	-	[167] Wn-Br-Rp-Ks-Pr
168	39	Wn	Br	-	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[168] Wn-Br-Jw-Wl-Bk
169	40	Wn	-	-	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[169] Wn-Tg-Ks-Pr-Bk
170	41	-	-	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[170] Rp-Jw-Wl-Pr-Bk
171	42	Wn	Br	Rp	-	-	-	Wl	Pr	-	[171] Wn-Br-Rp-Wl-Pr
172	43	Wn	Br	-	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[172] Wn-Br-Ks-Wl-Bk

Lanjutan Tabel 4.25 Daftar Kombinasi 5 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
173	44	Wn	-	-	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[173] Wn-Jw-Ks-Pr-Bk
174	45	-	-	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[174] Tg-Jw-Wl-Pr-Bk
175	46	Wn	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[175] Wn-Br-Tg-Jw-Ks
176	47	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[176] Wn-Rp-Tg-Jw-Bk
177	48	-	Br	Rp	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[177] Br-Rp-Tg-Pr-Bk
178	49	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[178] Wn-Br-Tg-Jw-Wl
179	50	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[179] Wn-Rp-Tg-Ks-Bk
180	51	-	Br	Rp	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[180] Br-Rp-Jw-Pr-Bk
181	52	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[181] Wn-Br-Tg-Ks-Wl
182	53	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[182] Wn-Rp-Jw-Ks-Bk
183	54	-	Br	-	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[183] Br-Tg-Jw-Pr-Bk
184	55	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[184] Wn-Br-Jw-Ks-Wl
185	56	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[185] Wn-Tg-Jw-Ks-Bk
186	57	-	-	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[186] Rp-Tg-Jw-Pr-Bk
187	58	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[187] Wn-Br-Tg-Jw-Pr
188	59	Wn	-	Rp	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[188] Wn-Rp-Tg-Wl-Bk
189	60	-	Br	Rp	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[189] Br-Rp-Ks-Pr-Bk
190	61	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[190] Wn-Br-Tg-Ks-Pr
191	62	Wn	-	Rp	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[191] Wn-Rp-Jw-Wl-Bk
192	63	-	Br	-	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[192] Br-Tg-Ks-Pr-Bk
193	64	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[193] Wn-Br-Jw-Ks-Pr
194	65	Wn	-	-	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[194] Wn-Tg-Jw-Wl-Bk
195	66	-	-	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[195] Rp-Tg-Ks-Pr-Bk
196	67	Wn	Br	-	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[196] Wn-Br-Tg-Wl-Pr
197	68	Wn	-	Rp	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[197] Wn-Rp-Ks-Wl-Bk
198	69	-	Br	-	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[198] Br-Jw-Ks-Pr-Bk
199	70	Wn	Br	-	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[199] Wn-Br-Jw-Wl-Pr
200	71	Wn	-	-	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[200] Wn-Tg-Ks-Wl-Bk
201	72	-	-	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[201] Rp-Jw-Ks-Pr-Bk
202	73	Wn	Br	-	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[202] Wn-Br-Ks-Wl-Pr
203	74	Wn	-	-	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[203] Wn-Jw-Ks-Wl-Bk
204	75	-	-	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[204] Tg-Jw-Ks-Pr-Bk
205	76	Wn	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[205] Wn-Rp-Tg-Jw-Ks
206	77	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[206] Br-Rp-Tg-Jw-Bk
207	78	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[207] Wn-Rp-Tg-Jw-Wl
208	79	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[208] Br-Rp-Tg-Ks-Bk
209	80	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[209] Wn-Rp-Tg-Ks-Wl
210	81	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[210] Br-Rp-Jw-Ks-Bk
211	82	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[211] Wn-Rp-Jw-Ks-Wl
212	83	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[212] Br-Tg-Jw-Ks-Bk
213	84	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[213] Wn-Tg-Jw-Ks-Wl
214	85	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[214] Rp-Tg-Jw-Ks-Bk
215	86	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[215] Wn-Rp-Tg-Jw-Pr
216	87	-	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[216] Br-Rp-Tg-Wl-Bk

Lanjutan Tabel 4.25 Daftar Kombinasi 5 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
217	88	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[217] Wn-Rp-Tg-Ks-Pr
218	89	-	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[218] Br-Rp-Jw-Wl-Bk
219	90	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[219] Wn-Rp-Jw-Ks-Pr
220	91	-	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[220] Br-Tg-Jw-Wl-Bk
221	92	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[221] Wn-Tg-Jw-Ks-Pr
222	93	-	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[222] Rp-Tg-Jw-Wl-Bk
223	94	Wn	-	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[223] Wn-Rp-Tg-Wl-Pr
224	95	-	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[224] Br-Rp-Ks-Wl-Bk
225	96	Wn	-	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[225] Wn-Rp-Jw-Wl-Pr
226	97	-	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[226] Br-Tg-Ks-Wl-Bk
227	98	Wn	-	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[227] Wn-Tg-Jw-Wl-Pr
228	99	-	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[228] Rp-Tg-Ks-Wl-Bk
229	100	Wn	-	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[229] Wn-Rp-Ks-Wl-Pr
230	101	-	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[230] Br-Jw-Ks-Wl-Bk
231	102	Wn	-	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[231] Wn-Tg-Ks-Wl-Pr
232	103	-	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[232] Rp-Jw-Ks-Wl-Bk
233	104	Wn	-	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[233] Wn-Jw-Ks-Wl-Pr
234	105	-	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[234] Tg-Jw-Ks-Wl-Bk
235	106	-	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[235] Br-Rp-Tg-Jw-Ks
236	107	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[236] Br-Rp-Tg-Jw-Wl
237	108	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[237] Br-Rp-Tg-Ks-Wl
238	109	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[238] Br-Rp-Jw-Ks-Wl
239	110	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[239] Br-Tg-Jw-Ks-Wl
240	111	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[240] Rp-Tg-Jw-Ks-Wl
241	112	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[241] Br-Rp-Tg-Jw-Pr
242	113	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[242] Br-Rp-Tg-Ks-Pr
243	114	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[243] Br-Rp-Jw-Ks-Pr
244	115	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[244] Br-Tg-Jw-Ks-Pr
245	116	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[245] Rp-Tg-Jw-Ks-Pr
246	117	-	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[246] Br-Rp-Tg-Wl-Pr
247	118	-	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[247] Br-Rp-Jw-Wl-Pr
248	119	-	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[248] Br-Tg-Jw-Wl-Pr
249	120	-	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[249] Rp-Tg-Jw-Wl-Pr
250	121	-	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[250] Br-Rp-Ks-Wl-Pr
251	122	-	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[251] Br-Tg-Ks-Wl-Pr
252	123	-	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[252] Rp-Tg-Ks-Wl-Pr
253	124	-	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[253] Br-Jw-Ks-Wl-Pr
254	125	-	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[254] Rp-Jw-Ks-Wl-Pr
255	126	-	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[255] Tg-Jw-Ks-Wl-Pr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.26. Daftar Kombinasi 4 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
256	1	Wn	Br	Rp	Tg	-	-	-	-	-	[256] Wn-Br-Rp-Tg
257	2	Wn	Br	Rp	-	-	-	-	-	Bk	[257] Wn-Br-Rp-Bk
258	3	Wn	Br	-	-	-	-	-	Pr	Bk	[258] Wn-Br-Pr-Bk
259	4	Wn	-	-	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[259] Wn-Wl-Pr-Bk
260	5	-	-	-	-	-	Ks	Wl	Pr	Bk	[260] Ks-Wl-Pr-Bk
261	6	Wn	Br	Rp	-	Jw	-	-	-	-	[261] Wn-Br-Rp-Jw
262	7	Wn	Br	-	Tg	-	-	-	-	Bk	[262] Wn-Br-Tg-Bk
263	8	Wn	-	Rp	-	-	-	-	Pr	Bk	[263] Wn-Rp-Pr-Bk
264	9	-	Br	-	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[264] Br-Wl-Pr-Bk
265	10	Wn	Br	Rp	-	-	Ks	-	-	-	[265] Wn-Br-Rp-Ks
266	11	Wn	Br	-	-	Jw	-	-	-	Bk	[266] Wn-Br-Jw-Bk
267	12	Wn	-	-	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[267] Wn-Tg-Pr-Bk
268	13	-	-	Rp	-	-	-	Wl	Pr	Bk	[268] Rp-Wl-Pr-Bk
269	14	Wn	Br	Rp	-	-	-	Wl	-	-	[269] Wn-Br-Rp-Wl
270	15	Wn	Br	-	-	-	Ks	-	-	Bk	[270] Wn-Br-Ks-Bk
271	16	Wn	-	-	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[271] Wn-Jw-Pr-Bk
272	17	-	-	-	Tg	-	-	Wl	Pr	Bk	[272] Tg-Wl-Pr-Bk
273	18	Wn	Br	Rp	-	-	-	-	Pr	-	[273] Wn-Br-Rp-Pr
274	19	Wn	Br	-	-	-	-	Wl	-	Bk	[274] Wn-Br-Wl-Bk
275	20	Wn	-	-	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[275] Wn-Ks-Pr-Bk
276	21	-	-	-	-	Jw	-	Wl	Pr	Bk	[276] Jw-Wl-Pr-Bk
277	22	Wn	Br	-	Tg	Jw	-	-	-	-	[277] Wn-Br-Tg-Jw
278	23	Wn	-	Rp	Tg	-	-	-	-	Bk	[278] Wn-Rp-Tg-Bk
279	24	-	Br	Rp	-	-	-	-	Pr	Bk	[279] Br-Rp-Pr-Bk
280	25	Wn	Br	-	Tg	-	Ks	-	-	-	[280] Wn-Br-Tg-Ks
281	26	Wn	-	Rp	-	Jw	-	-	-	Bk	[281] Wn-Rp-Jw-Bk
282	27	-	Br	-	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[282] Br-Tg-Pr-Bk
283	28	Wn	Br	-	-	Jw	Ks	-	-	-	[283] Wn-Br-Jw-Ks
284	29	Wn	-	-	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[284] Wn-Tg-Jw-Bk
285	30	-	-	Rp	Tg	-	-	-	Pr	Bk	[285] Rp-Tg-Pr-Bk
286	31	Wn	Br	-	Tg	-	-	Wl	-	-	[286] Wn-Br-Tg-Wl
287	32	Wn	-	Rp	-	-	Ks	-	-	Bk	[287] Wn-Rp-Ks-Bk
288	33	-	Br	-	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[288] Br-Jw-Pr-Bk
289	34	Wn	Br	-	-	Jw	-	Wl	-	-	[289] Wn-Br-Jw-Wl
290	35	Wn	-	-	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[290] Wn-Tg-Ks-Bk
291	36	-	-	Rp	-	Jw	-	-	Pr	Bk	[291] Rp-Jw-Pr-Bk
292	37	Wn	Br	-	-	-	Ks	Wl	-	-	[292] Wn-Br-Ks-Wl
293	38	Wn	-	-	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[293] Wn-Jw-Ks-Bk
294	39	-	-	-	Tg	Jw	-	-	Pr	Bk	[294] Tg-Jw-Pr-Bk
295	40	Wn	Br	-	Tg	-	-	-	Pr	-	[295] Wn-Br-Tg-Pr
296	41	Wn	-	Rp	-	-	-	Wl	-	Bk	[296] Wn-Rp-Wl-Bk
297	42	-	Br	-	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[297] Br-Ks-Pr-Bk
298	43	Wn	Br	-	-	Jw	-	-	Pr	-	[298] Wn-Br-Jw-Pr

Lanjutan Tabel 4.26 Daftar Kombinasi 4 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
299	44	Wn	-	-	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[299] Wn-T-Wl-Bk
300	45	-	-	Rp	-	-	Ks	-	Pr	Bk	[300] Rp-Ks-Pr-Bk
301	46	Wn	Br	-	-	-	Ks	-	Pr	-	[301] Wn-Br-Ks-Pr
302	47	Wn	-	-	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[302] Wn-Jw-Wl-Bk
303	48	-	-	-	Tg	-	Ks	-	Pr	Bk	[303] Tg-Ks-Pr-Bk
304	49	Wn	Br	-	-	-	-	Wl	Pr	-	[304] Wn-Br-Wl-Pr
305	50	Wn	-	-	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[305] Wn-Ks-Wl-Bk
306	51	-	-	-	-	Jw	Ks	-	Pr	Bk	[306] Jw-Ks-Pr-Bk
307	52	Wn	-	Rp	Tg	Jw	-	-	-	-	[307] Wn-Rp-T-Jw
308	53	-	Br	Rp	Tg	-	-	-	-	Bk	[308] Br-Rp-T-Bk
309	54	Wn	-	Rp	Tg	-	Ks	-	-	-	[309] Wn-Rp-T-Ks
310	55	-	Br	Rp	-	Jw	-	-	-	Bk	[310] Br-Rp-Jw-Bk
311	56	Wn	-	Rp	-	Jw	Ks	-	-	-	[311] Wn-Rp-Jw-Ks
312	57	-	Br	-	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[312] Br-T-Jw-Bk
313	58	Wn	-	-	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[313] Wn-T-Jw-Ks
314	59	-	-	Rp	Tg	Jw	-	-	-	Bk	[314] Rp-T-Jw-Bk
315	60	Wn	-	Rp	Tg	-	-	Wl	-	-	[315] Wn-Rp-T-Wl
316	61	-	Br	Rp	-	-	Ks	-	-	Bk	[316] Br-Rp-Ks-Bk
317	62	Wn	-	Rp	-	Jw	-	Wl	-	-	[317] Wn-Rp-Jw-Wl
318	63	-	Br	-	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[318] Br-T-Ks-Bk
319	64	Wn	-	-	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[319] Wn-T-Jw-Wl
320	65	-	-	Rp	Tg	-	Ks	-	-	Bk	[320] Rp-T-Ks-Bk
321	66	Wn	-	Rp	-	-	Ks	Wl	-	-	[321] Wn-Rp-Ks-Wl
322	67	-	Br	-	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[322] Br-Jw-Ks-Bk
323	68	Wn	-	-	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[323] Wn-T-Ks-Wl
324	69	-	-	Rp	-	Jw	Ks	-	-	Bk	[324] Rp-Jw-Ks-Bk
325	70	Wn	-	-	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[325] Wn-Jw-Ks-Wl
326	71	-	-	-	Tg	Jw	Ks	-	-	Bk	[326] Tg-Jw-Ks-Bk
327	72	Wn	-	Rp	Tg	-	-	-	Pr	-	[327] Wn-Rp-T-Pr
328	73	-	Br	Rp	-	-	-	Wl	-	Bk	[328] Br-Rp-Wl-Bk
329	74	Wn	-	Rp	-	Jw	-	-	Pr	-	[329] Wn-Rp-Jw-Pr
330	75	-	Br	-	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[330] Br-T-Wl-Bk
331	76	Wn	-	-	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[331] Wn-T-Jw-Pr
332	77	-	-	Rp	Tg	-	-	Wl	-	Bk	[332] Rp-T-Wl-Bk
333	78	Wn	-	Rp	-	-	Ks	-	Pr	-	[333] Wn-Rp-Ks-Pr
334	79	-	Br	-	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[334] Br-Jw-Wl-Bk
335	80	Wn	-	-	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[335] Wn-T-Ks-Pr
336	81	-	-	Rp	-	Jw	-	Wl	-	Bk	[336] Rp-Jw-Wl-Bk
337	82	Wn	-	-	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[337] Wn-Jw-Ks-Pr
338	83	-	-	-	Tg	Jw	-	Wl	-	Bk	[338] Tg-Jw-Wl-Bk
339	84	Wn	-	Rp	-	-	-	Wl	Pr	-	[339] Wn-Rp-Wl-Pr
340	85	-	Br	-	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[340] Br-Ks-Wl-Bk
341	86	Wn	-	-	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[341] Wn-T-Wl-Pr
342	87	-	-	Rp	-	-	Ks	Wl	-	Bk	[342] Rp-Ks-Wl-Bk

Lanjutan Tabel 4.26 Daftar Kombinasi 4 Stasiun (126 Kombinasi)

No.	Sub No	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	Kode Jaringan
343	88	Wn	-	-	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[343] Wn-Jw-Wl-Pr
344	89	-	-	-	Tg	-	Ks	Wl	-	Bk	[344] Tg-Ks-Wl-Bk
345	90	Wn	-	-	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[345] Wn-Ks-Wl-Pr
346	91	-	-	-	-	Jw	Ks	Wl	-	Bk	[346] Jw-Ks-Wl-Bk
347	92	-	Br	Rp	Tg	Jw	-	-	-	-	[347] Br-R-Tg-Jw
348	93	-	Br	Rp	Tg	-	Ks	-	-	-	[348] Br-R-Tg-Ks
349	94	-	Br	Rp	-	Jw	Ks	-	-	-	[349] Br-R-Jw-Ks
350	95	-	Br	-	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[350] Br-Tg-Jw-Ks
351	96	-	-	Rp	Tg	Jw	Ks	-	-	-	[351] Rp-Tg-Jw-Ks
352	97	-	Br	Rp	Tg	-	-	Wl	-	-	[352] Br-R-Tg-Wl
353	98	-	Br	Rp	-	Jw	-	Wl	-	-	[353] Br-R-Jw-Wl
354	99	-	Br	-	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[354] Br-Tg-Jw-Wl
355	100	-	-	Rp	Tg	Jw	-	Wl	-	-	[355] Rp-Tg-Jw-Wl
356	101	-	Br	Rp	-	-	Ks	Wl	-	-	[356] Br-R-Ks-Wl
357	102	-	Br	-	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[357] Br-Tg-Ks-Wl
358	103	-	-	Rp	Tg	-	Ks	Wl	-	-	[358] Rp-Tg-Ks-Wl
359	104	-	Br	-	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[359] Br-Jw-Ks-Wl
360	105	-	-	Rp	-	Jw	Ks	Wl	-	-	[360] Rp-Jw-Ks-Wl
361	106	-	-	-	Tg	Jw	Ks	Wl	-	-	[361] Tg-Jw-Ks-Wl
362	107	-	Br	Rp	Tg	-	-	-	Pr	-	[362] Br-R-Tg-Pr
363	108	-	Br	Rp	-	Jw	-	-	Pr	-	[363] Br-R-Jw-Pr
364	109	-	Br	-	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[364] Br-Tg-Jw-Pr
365	110	-	-	Rp	Tg	Jw	-	-	Pr	-	[365] Rp-Tg-Jw-Pr
366	111	-	Br	Rp	-	-	Ks	-	Pr	-	[366] Br-R-Ks-Pr
367	112	-	Br	-	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[367] Br-Tg-Ks-Pr
368	113	-	-	Rp	Tg	-	Ks	-	Pr	-	[368] Rp-Tg-Ks-Pr
369	114	-	Br	-	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[369] Br-Jw-Ks-Pr
370	115	-	-	Rp	-	Jw	Ks	-	Pr	-	[370] Rp-Jw-Ks-Pr
371	116	-	-	-	Tg	Jw	Ks	-	Pr	-	[371] Tg-Jw-Ks-Pr
372	117	-	Br	Rp	-	-	-	Wl	Pr	-	[372] Br-R-Wl-Pr
373	118	-	Br	-	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[373] Br-Tg-Wl-Pr
374	119	-	-	Rp	Tg	-	-	Wl	Pr	-	[374] Rp-Tg-Wl-Pr
375	120	-	Br	-	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[375] Br-Jw-Wl-Pr
376	121	-	-	Rp	-	Jw	-	Wl	Pr	-	[376] Rp-Jw-Wl-Pr
377	122	-	-	-	Tg	Jw	-	Wl	Pr	-	[377] Tg-Jw-Wl-Pr
378	123	-	Br	-	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[378] Br-Ks-Wl-Pr
379	124	-	-	Rp	-	-	Ks	Wl	Pr	-	[379] Rp-Ks-Wl-Pr
380	125	-	-	-	Tg	-	Ks	Wl	Pr	-	[380] Tg-Ks-Wl-Pr
381	126	-	-	-	-	Jw	Ks	Wl	Pr	-	[381] Jw-Ks-Wl-Pr

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

## 4.5. Analisis Jaringan Stasiun Hujan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

### 4.5.1. Perancangan Data Pelatihan

Studi ini menggunakan bantuan *software NeuroSolutions for Excel Version 7.1* untuk melakukan pemodelan regresi berbasis Jaringan Saraf Tiruan. Arsitektur jaringan yang digunakan adalah *Multi Layer Perceptron (MLP)* dengan algoritma Backpropagation. Variabel masukan (*input*) berupa data hujan dari 9 stasiun, sedangkan variabel keluaran (*output*) berupa data debit. Secara ringkas, contoh tabel data analisa nantinya akan berbentuk seperti berikut:

Tabel 4.27. Format Pemodelan

Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak	AWLR	AWLRout
Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	AWLR	AWLRout
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
314	297	281	264	369	280	285	297	365	<b>398,37</b>	...
183	163	136	110	191	125	144	219	105	<b>62,30</b>	...
354	343	300	315	480	380	696	507	182	<b>366,32</b>	...
302	387	316	200	308	260	166	260	240	<b>24,88</b>	...
164	112	100	114	338	169	273	377	145	<b>266,79</b>	...
413	412	410	378	413	428	714	406	249	<b>186,03</b>	...
29	72	60	39	115	63	125	94	48	<b>30,43</b>	...
435	367	458	402	718	582	1289	810	428	<b>219,85</b>	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
316	355	337	332	400	265	382	429	240	<b>45,35</b>	...

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Persamaan pemodelan yang akan diperoleh adalah:

$$y_{ink} = W_{0k} + \sum \{ (B + (Z_1 X_{Wn} + Z_1 X_{Br} + Z_1 X_{Rp} + Z_1 X_{Tg} + Z_1 X_{Jw} + Z_1 X_{Ks} + Z_1 X_{Wl} + Z_1 X_{Pr} + Z_1 X_{Bk}) W_{1k} + \dots + (B + (Z_{10} X_{Wn} + Z_{10} X_{Br} + Z_{10} X_{Rp} + Z_{10} X_{Tg} + Z_{10} X_{Jw} + Z_{10} X_{Ks} + Z_{10} X_{Wl} + Z_{10} X_{Pr} + Z_{10} X_{Bk}) W_{10k}) \}$$

dengan :  $y_{ink}$  = nilai *output*

W = bobot dari *hidden layer* ke *output*

X = *neuron* pada *input layer*

Z = *hidden layer*

B = Bias/unit masukan

#### 4.5.2. Proses Pelatihan

Secara umum, tahapan penggerjaan menggunakan *software NeuroSolutions* adalah sebagai berikut (contoh kombinasi [046] Wn-Br-R-T-J-K):

1. Susunlah kolom data hujan dan data debit berurutan dari kiri kanan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Winong	Tangkul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	AWLR					
2	314	264	369	280	285	297	398.4					
3	120	108	235	235	180	501	77.7					
4	225	143	254	225	325	283	38.1					
5	538	367	609	551	515	536	220.6					
6	431	397	391	453	343	636	251.9					
7	53	34	51	38	15	51	8.6					
8	77	55	161	83	181	242	114.6					
9	183	110	191	125	144	219	62.3					
10	266	260	274	320	195	363	23.2					
11	354	315	480	380	696	507	366.3					
12	87	39	146	105	100	181	178.9					
13	302	200	308	260	166	260	24.9					
14	195	321	422	307	386	403	86.1					
15	164	114	338	169	273	377	266.8					
16	282	137	210	200	267	246	25.8					
17	413	378	413	428	714	406	186.0					
18	85	47	68	58	70	73	54.5					
19	222	99	255	207	240	198	18.5					
20	463	310	452	374	321	424	388.4					
21	487	275	525	495	500	460	294.0					
22	268	294	470	291	234	539	407.6					

Gambar 4.4. Susunan data pelatihan JST

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

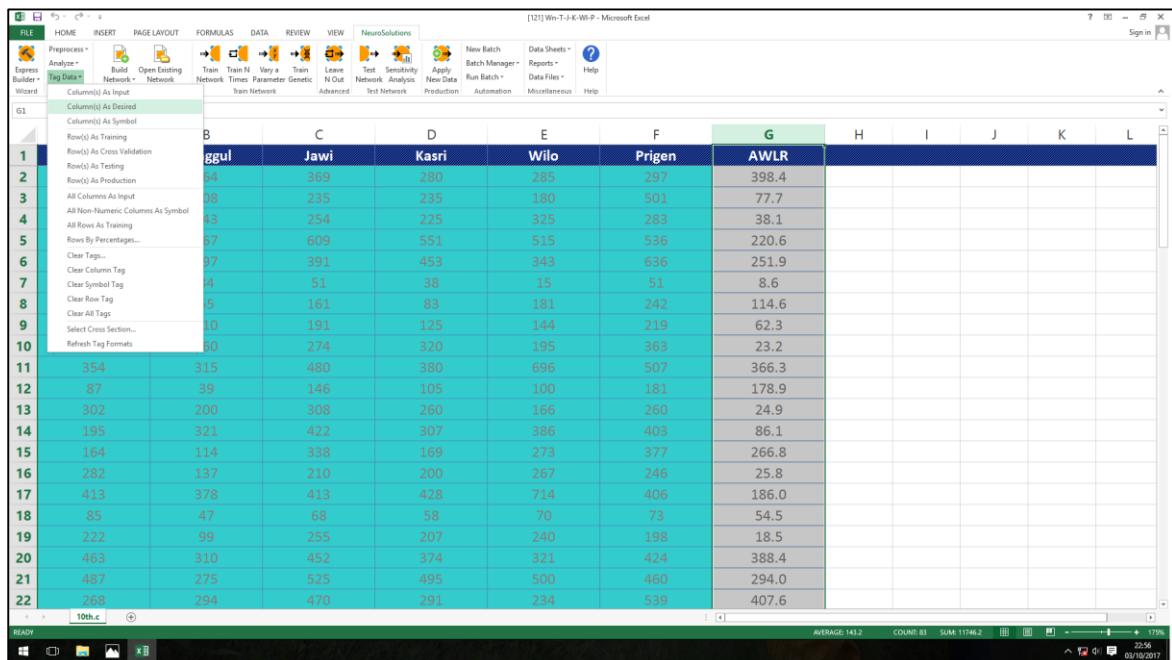
2. Blog kolom data hujan (Winong - Prigen), lalu klik *Tag Data → Column(s) as Input*.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Tangkul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	AWLR						
2	64	369	280	285	297	398.4						
3	08	235	235	180	501	77.7						
4	43	254	225	325	283	38.1						
5	67	609	551	515	536	220.6						
6	97	391	453	343	636	251.9						
7	14	51	38	15	51	8.6						
8	5	161	83	181	242	114.6						
9	10	191	125	144	219	62.3						
10	274	320	195	363	23.2							
11	354	315	480	696	507	366.3						
12	87	39	146	105	100	181	178.9					
13	302	200	308	260	166	260	24.9					
14	195	321	422	307	386	403	86.1					
15	164	114	338	169	273	377	266.8					
16	282	137	210	200	267	246	25.8					
17	413	378	413	428	714	406	186.0					
18	85	47	68	58	70	73	54.5					
19	222	99	255	207	240	198	18.5					
20	463	310	452	374	321	424	388.4					
21	487	275	525	495	500	460	294.0					
22	268	294	470	291	234	539	407.6					

Gambar 4.5. Tag Data Input

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

3. Blog kolom data debit (AWLR), lalu klik *Tag Data* → *Column(s) as Desired*.

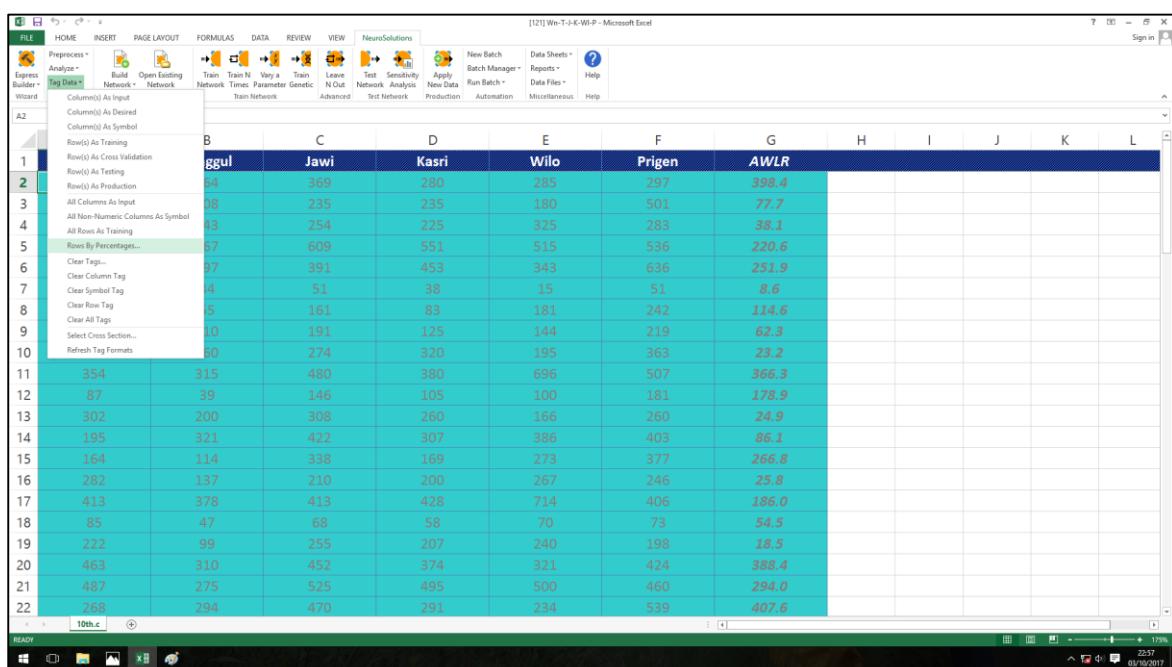


	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	AWLR					
2	64	369	280	285	297	398.4					
3	08	235	235	180	501	77.7					
4	43	254	225	325	283	38.1					
5	57	609	551	515	536	220.6					
6	97	391	453	343	636	251.9					
7	4	51	38	15	51	8.6					
8	5	161	83	181	242	114.6					
9	10	191	125	144	219	62.3					
10	50	274	320	195	363	23.2					
11	354	315	480	380	696	507	366.3				
12	87	39	146	105	100	181	178.9				
13	302	200	308	260	166	260	24.9				
14	195	321	422	307	386	403	86.1				
15	164	114	338	169	273	377	266.8				
16	282	137	210	200	267	246	25.8				
17	413	378	413	428	714	406	186.0				
18	85	47	68	58	70	73	54.5				
19	222	99	255	207	240	198	18.5				
20	463	310	452	374	321	424	388.4				
21	487	275	525	495	500	460	294.0				
22	268	294	470	291	234	539	407.6				

Gambar 4.6. Tag Data Desired

Sumber: NeuroSolutions for Excel, 2017

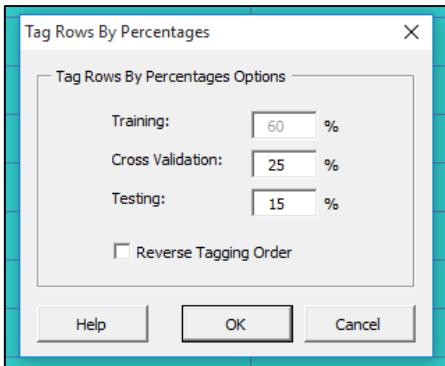
4. Klik *Tag Data* → *Rows by Percentage*, lalu masukkan angka 25% untuk *Cross Validation* dan 15% untuk *Testing*. Sebagai informasi, set data *Training* akan berwarna hitam, *Cross Validation* akan berwarna merah, sedangkan *Testing* akan berwarna biru.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	AWLR					
2	64	369	280	285	297	398.4					
3	08	235	235	180	501	77.7					
4	43	254	225	325	283	38.1					
5	57	609	551	515	536	220.6					
6	97	391	453	343	636	251.9					
7	4	51	38	15	51	8.6					
8	5	161	83	181	242	114.6					
9	10	191	125	144	219	62.3					
10	50	274	320	195	363	23.2					
11	354	315	480	380	696	507	366.3				
12	87	39	146	105	100	181	178.9				
13	302	200	308	260	166	260	24.9				
14	195	321	422	307	386	403	86.1				
15	164	114	338	169	273	377	266.8				
16	282	137	210	200	267	246	25.8				
17	413	378	413	428	714	406	186.0				
18	85	47	68	58	70	73	54.5				
19	222	99	255	207	240	198	18.5				
20	463	310	452	374	321	424	388.4				
21	487	275	525	495	500	460	294.0				
22	268	294	470	291	234	539	407.6				

Gambar 4.7. Tag Set Data dengan Rows by Percentage

Sumber: NeuroSolutions for Excel, 2017



Gambar 4.8. Pemilihan bobot data

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

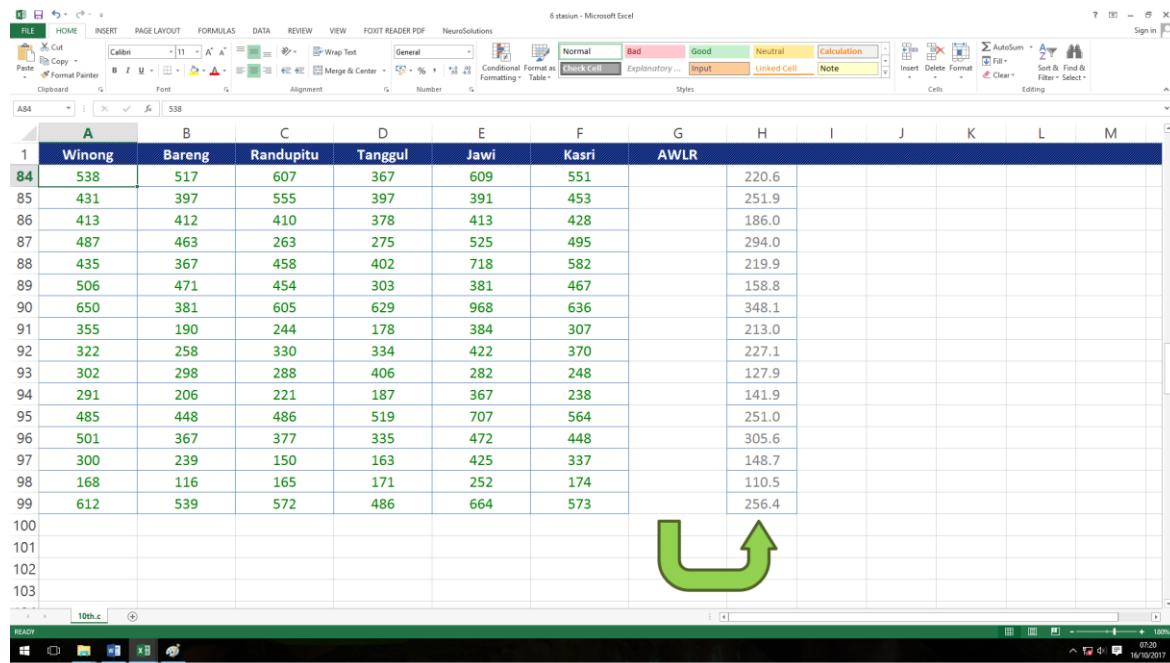
5. Ambil beberapa baris data secara acak dari rangkaian set data untuk diletakkan di bagian bawah set data Testing. Kemudian blog baris tersebut, klik *Tag Data* → *Row(s) as Production*. Set data *Production* akan berwarna hijau.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
82	<b>Randupitu</b>	<b>Tanggul</b>	<b>Jawi</b>	<b>Kasri</b>	<b>AWLR</b>							
83	552	329	592	444	535.5							
84	169	86	222	223	21.0							
85	607	367	609	551	220.6							
86	555	397	391	453	251.9							
87	410	378	413	428	186.0							
88	263	275	525	495	294.0							
89	458	402	718	582	219.9							
90	454	303	381	467	158.8							
91	605	629	968	636	348.1							
92	355	190	244	384	307	213.0						
93	322	258	330	334	422	370	227.1					
94	302	298	288	406	282	248	127.9					
95	291	206	221	187	367	238	141.9					
96	485	448	486	519	707	564	251.0					
97	501	367	377	335	472	448	305.6					
98	300	239	150	163	425	337	148.7					
99	168	116	165	171	252	174	110.5					
100	612	539	572	486	664	573	256.4					

Gambar 4.9. Tag Data Production

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

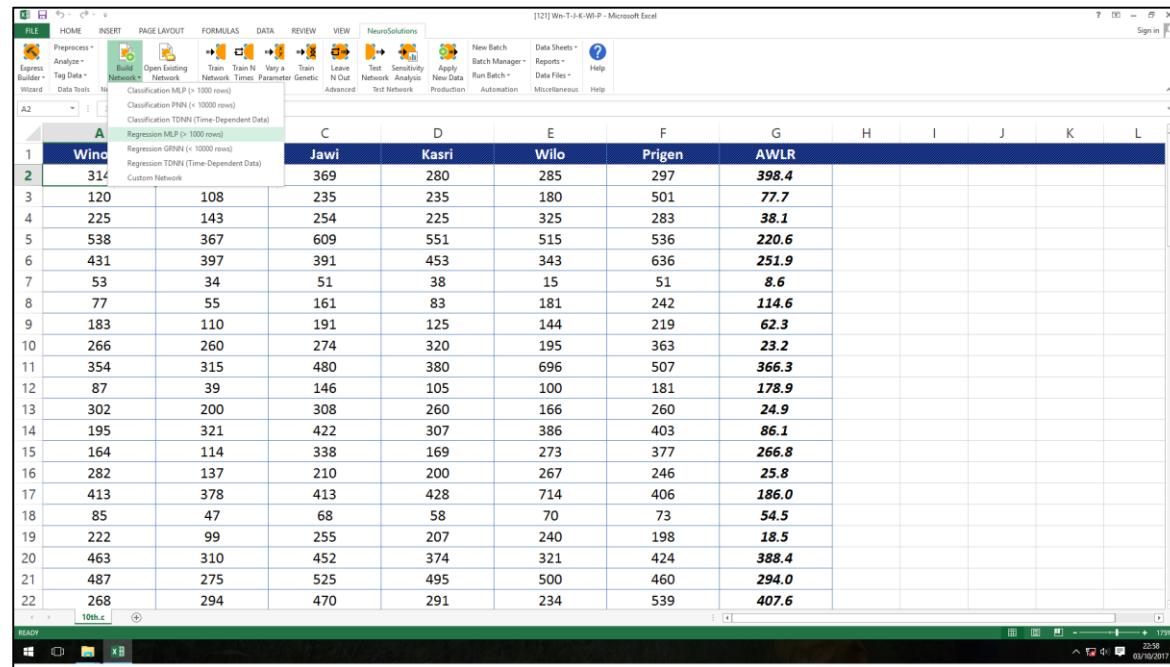
Untuk mempermudah proses perhitungan Kesalahan Relatif (KR), maka data debit AWLR (*Desired*) pada set data *Production* dipindahkan satu kolom ke sebelah kanan.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	AWLR						
84	538	517	607	367	609	551	220.6					
85	431	397	555	397	391	453	251.9					
86	413	412	410	378	413	428	186.0					
87	487	463	263	275	525	495	294.0					
88	435	367	458	402	718	582	219.9					
89	506	471	454	303	381	467	158.8					
90	650	381	605	629	968	636	348.1					
91	355	190	244	178	384	307	213.0					
92	322	258	330	334	422	370	227.1					
93	302	298	288	406	282	248	127.9					
94	291	206	221	187	367	238	141.9					
95	485	448	486	519	707	564	251.0					
96	501	367	377	335	472	448	305.6					
97	300	239	150	163	425	337	148.7					
98	168	116	165	171	252	174	110.5					
99	612	539	572	486	664	573	256.4					
100												
101												
102												
103												

Gambar 4.10. Penyusunan data *Production*Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

6. Pada tahapan ini, set data yang kita miliki sudah siap untuk dijadikan sebuah jaringan. Langkah berikutnya adalah membangun jaringan. Klik ikon *Build Network* → *Regression MLP (>1000 rows)*.

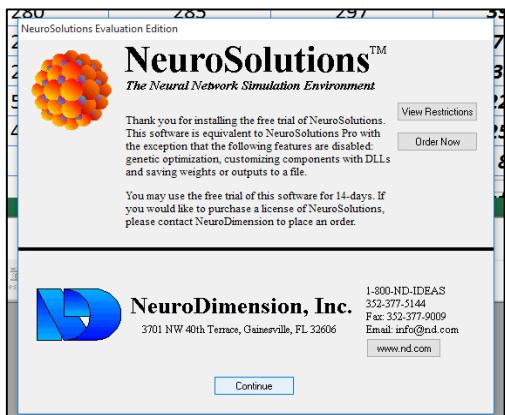


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Wind		Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	AWLR					
314		369	280	285	297	398.4					
120	108	235	235	180	501	77.7					
225	143	254	225	325	283	38.1					
538	367	609	551	515	536	220.6					
431	397	391	453	343	636	251.9					
53	34	51	38	15	51	8.6					
77	55	161	83	181	242	114.6					
183	110	191	125	144	219	62.3					
266	260	274	320	195	363	23.2					
354	315	480	380	696	507	366.3					
87	39	146	105	100	181	178.9					
302	200	308	260	166	260	24.9					
195	321	422	307	386	403	86.1					
164	114	338	169	273	377	266.8					
282	137	210	200	267	246	25.8					
413	378	413	428	714	406	186.0					
85	47	68	58	70	73	54.5					
222	99	255	207	240	198	18.5					
463	310	452	374	321	424	388.4					
487	275	525	495	500	460	294.0					
268	294	470	291	234	539	407.6					

Gambar 4.11. Pemilihan arsitektur jaringan

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

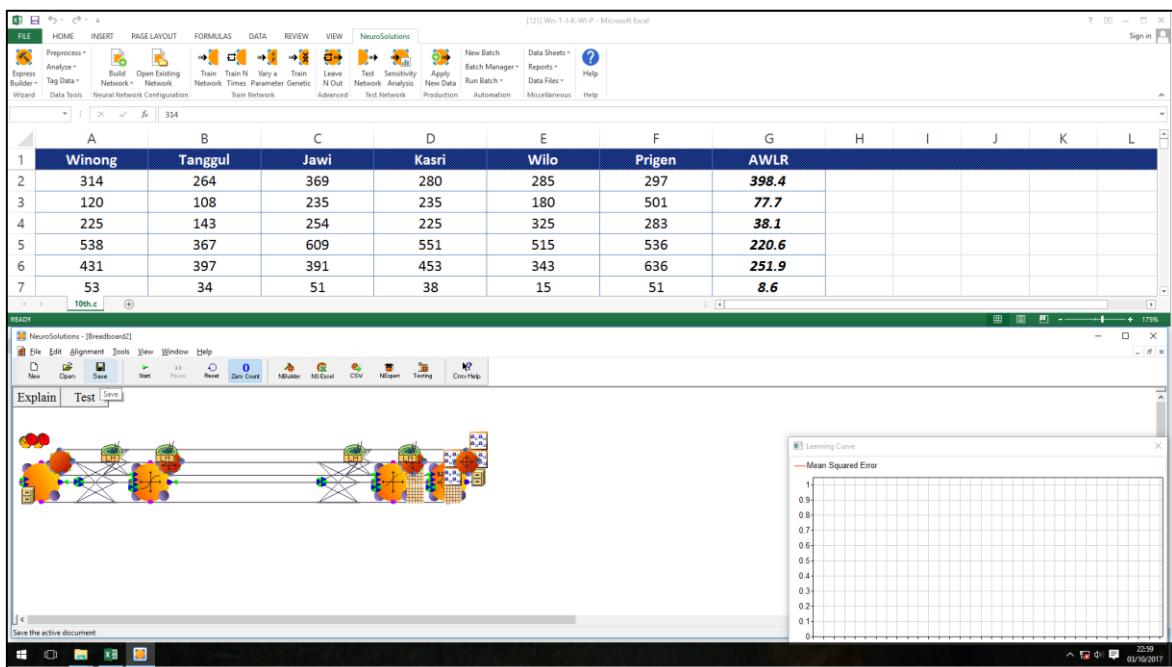
Apabila muncul peringatan seperti gambar berikut, maka klik *Continue*.



Gambar 4.12. Notifikasi program (*evaluation*)

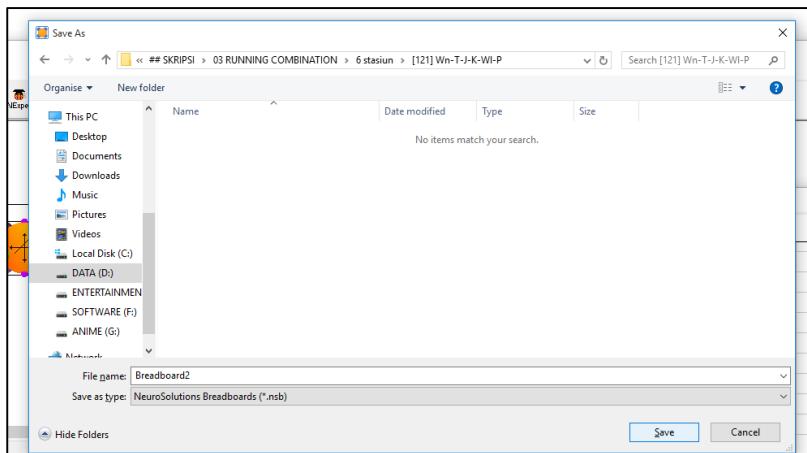
Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

7. Struktur jaringan yang baru telah terbentuk pada aplikasi *NeuroSolutions*. Agar dapat melakukan pelatihan, maka file tersebut harus disimpan terlebih dahulu. Klik ikon *Save*.



Gambar 4.13. Penyimpanan file jaringan

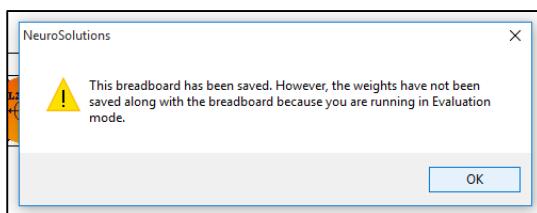
Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017



Gambar 4.14. Lokasi penyimpanan file jaringan

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

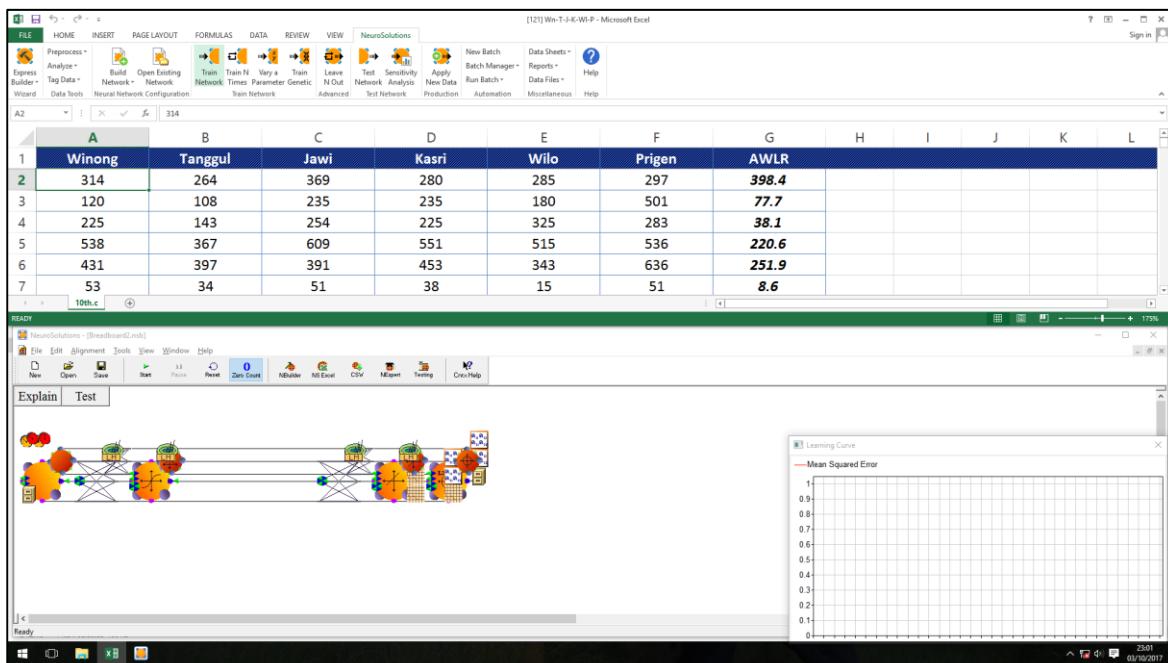
Apabila muncul peringatan seperti gambar berikut, maka klik OK.



Gambar 4.15. Notifikasi program (*weight*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

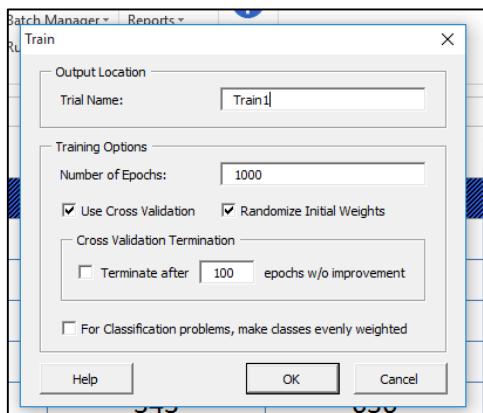
8. Selanjutnya merupakan bagian inti dari pemodelan, yaitu pelatihan. Umumnya, tahapan ini disebut *running* aplikasi. Untuk memulai pelatihan, klik *Train Network*.



Gambar 4.16. *Train Network*

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

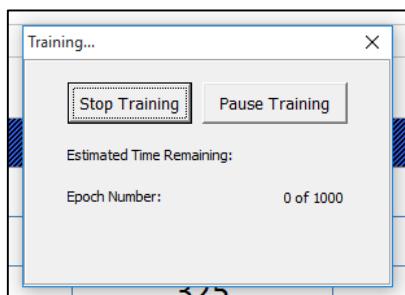
Kotak dialog yang berisi beberapa opsi pengaturan akan muncul.



Gambar 4.17. Kotak dialog *Train Network*

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

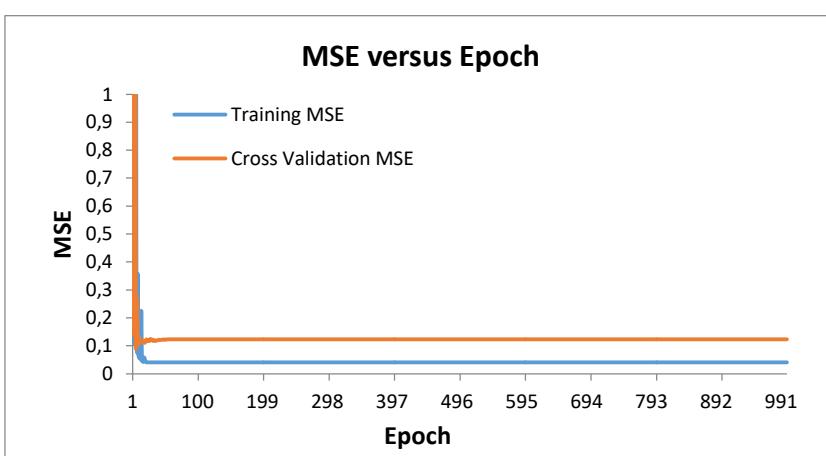
Apabila sudah diisi, klik *OK*. Apabila ada notifikasi perihal *Evaluation Mode*, klik *Close*. Proses *Training* akan langsung berjalan.



Gambar 4.18. *Train network* sedang berlangsung

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

9. Setelah proses *Training* selesai dilakukan pada program *NeuroSolutions*, program akan menyajikan hasil berupa grafik dan informasi grafik. Grafik yang disajikan berupa *MSE vs Epoch*. *Mean Square Error (MSE)* sebagai sumbu y dan *Epoch* sebagai sumbu x. Terdapat 2 garis data pada grafik ini, yaitu *Training MSE* dan *Cross Validation MSE*.



Gambar 4.19. Grafik *MSE versus Epoch*

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

Selain grafik, terdapat ringkasan informasi dari grafik yaitu *Best Networks*, kondisi saat jaringan terbaik terbentuk. Parameternya adalah *Epoch*, *Minimum MSE*, dan *Final MSE*.

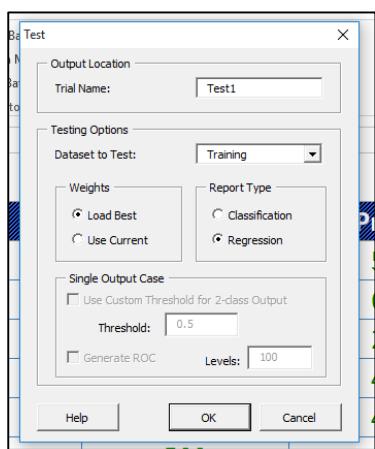
*Tabel 4.28. Best Networks*

<b>Best Networks</b>	<b>Training</b>	<b>Cross Validation</b>
Epoch #	150	6
Minimum MSE	0,040708882	0,088353789
Final MSE	0,040708882	0,12356266

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

10. Sebuah tes perlu dilakukan untuk melihat karakteristik pemodelan pada masing-masing set data. Pada tes yang pertama, dilakukan pada set data *Training*. Klik ikon *Test Network*, lalu kotak dialog akan muncul.

Beri nama *Test1* pada opsi *Trial Name*. Pada bagian *Dataset to Test*, pilih *Training*. Pada bagian *Weights*, pilih *Load Best (default)*. Pada bagian *Report Type*, pilih *Regression (default)*.

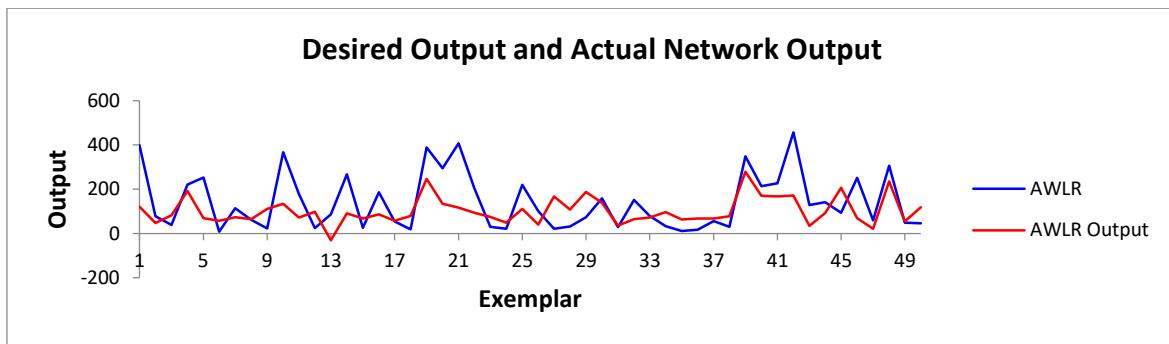


*Gambar 4.20. Test Network (Training)*

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

Terdapat 2 sheet baru setelah proses *Test Network* selesai. *Sheet* pertama (*test1 report*) berisi 2 buah grafik dan satu tabel parameter kesalahan pemodelan. Sedangkan *sheet* kedua (*test1 IO data*) berisi tabel data *input* dan *output* pada set data yang bersangkutan.

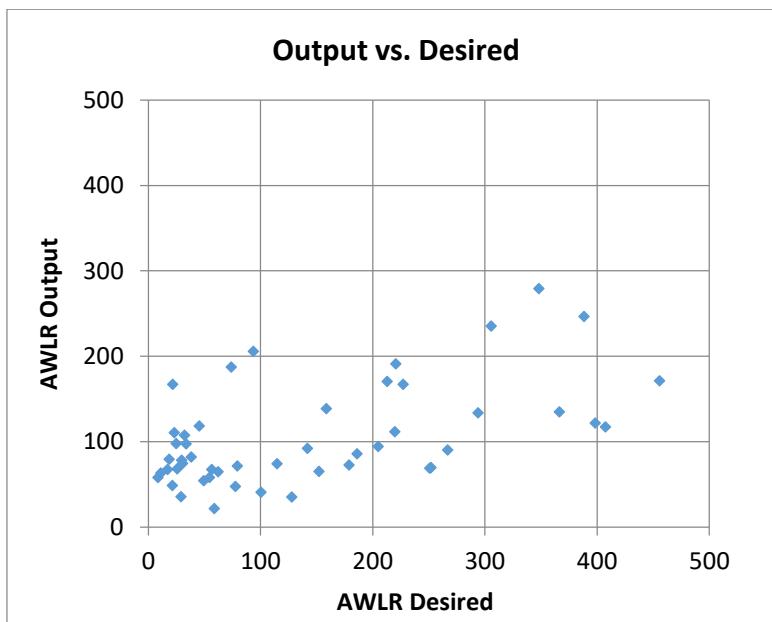
Grafik pertama yaitu *Desired Output and Actual Network Output* menunjukkan perbandingan antara data asli dan data pemodelan dengan deret data sebagai sumbu x seperti penyajian data *time series*. Semakin berhimpit kedua garis, tentu semakin bagus.



Gambar 4.21. Grafik Desired Output and Actual Network Output (Training)

Sumber: NeuroSolutions for Excel, 2017

Grafik kedua yaitu *Output* vs. *Desired* menunjukkan perbandingan antara data asli dan data pemodelan tanpa skala seperti penyajian data *distribution series*. Semakin banyak titik yang mendekati garis lurus  $45^\circ$ , tentu semakin bagus.



Gambar 4.22. Grafik Output vs. Desired (Training)

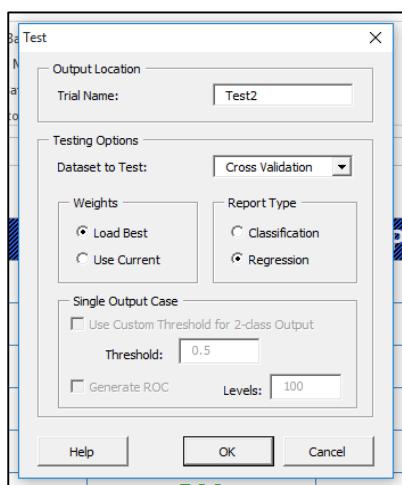
Sumber: NeuroSolutions for Excel, 2017

Tabel 4.29. Parameter Kesalahan Pemodelan (Training)

<i>Performance</i>	<i>AWLR</i>
RMSE	112,7313815
NRMSE	0,252137149
MAE	87,10439255
NMAE	0,194819339
Min Abs Error	2,412942273
Max Abs Error	290,583718
r	0,542095668
Score	69,92613693

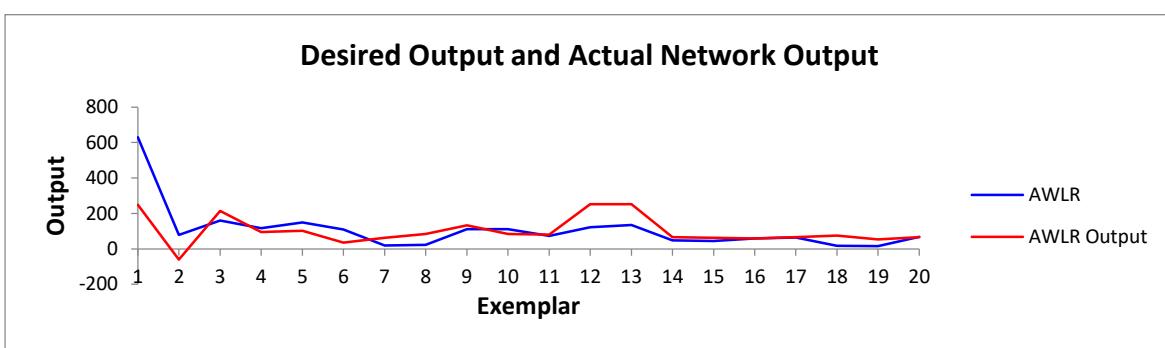
Sumber: NeuroSolutions for Excel, 2017

11. Selanjutnya tes yang kedua untuk set data *Cross Validation*.



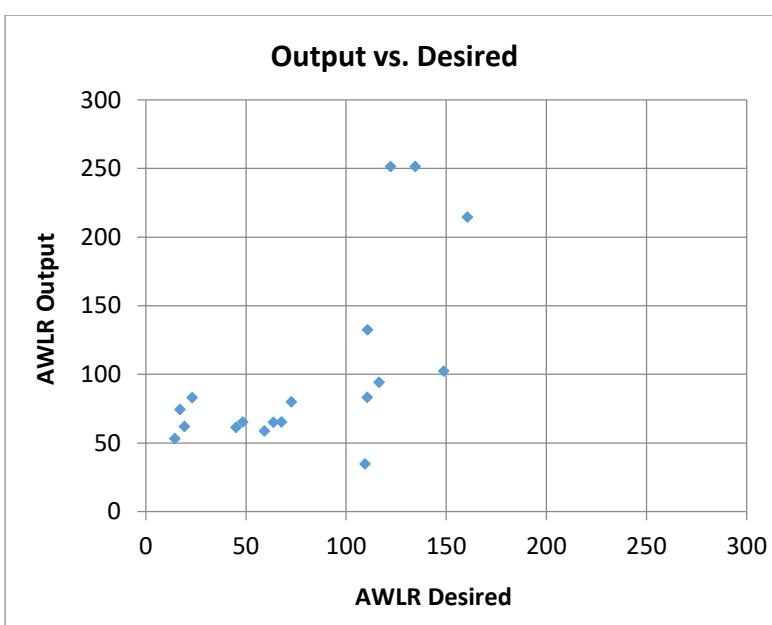
Gambar 4.23. Test Network (*Cross Validation*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017



Gambar 4.24. Grafik Desired Output and Actual Network Output (*Cross Validation*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017



Gambar 4.25. Grafik Output vs. Desired (*Cross Validation*)

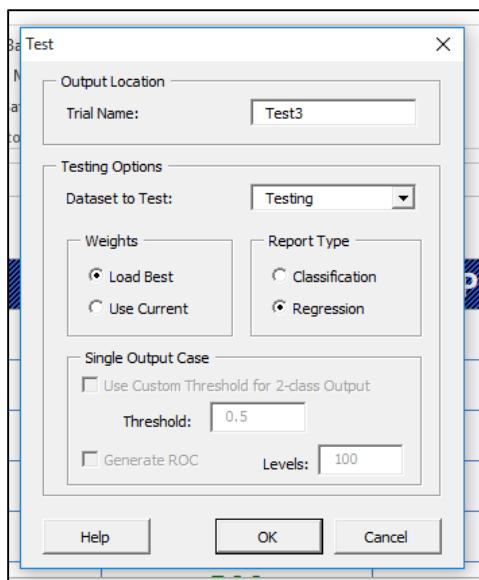
Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

Tabel 4.30. Parameter Kesalahan Pemodelan (*Cross Validation*)

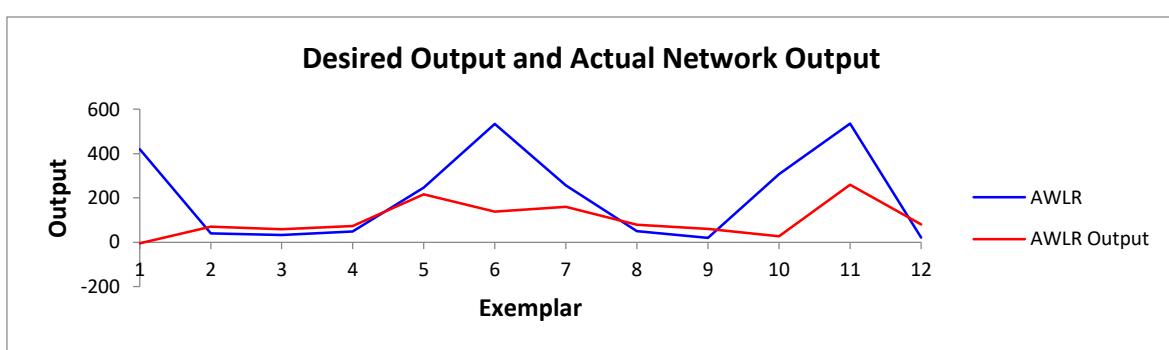
<b>Performance</b>	<b>AWLR</b>
RMSE	104,4150435
NRMSE	0,23353667
MAE	62,80528462
NMAE	0,140471493
Min Abs Error	0,362271553
Max Abs Error	381,1066685
r	0,576186716
Score	72,15072164

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

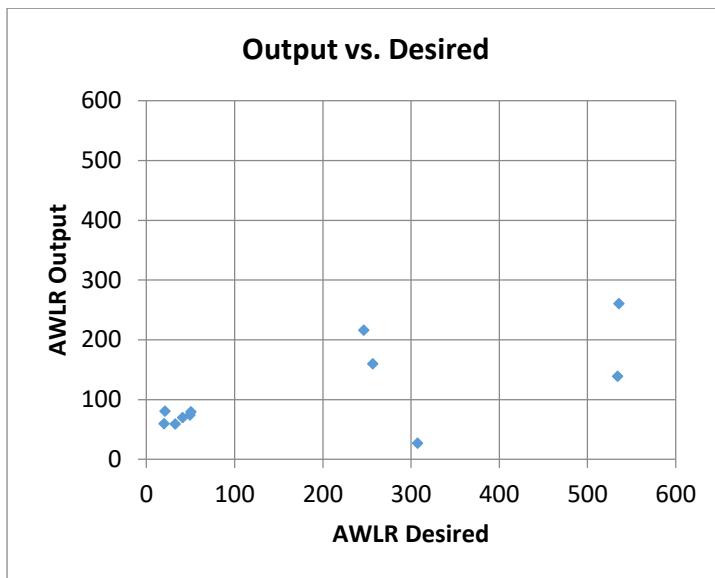
12. Kemudian tes yang ketiga dan terakhir untuk set data *Testing*.

Gambar 4.26. Test Network (*Testing*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

Gambar 4.27. Grafik Desired Output and Actual Network Output (*Testing*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017



Gambar 4.28. Grafik Output vs. Desired (*Testing*)

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

Tabel 4.31. Parameter Kesalahan Pemodelan (*Testing*)

<i>Performance</i>	<i>AWLR</i>
RMSE	206,0770531
NRMSE	0,460915852
MAE	142,6027124
NMAE	0,318947936
Min Abs Error	24,52787419
Max Abs Error	425,2551406
r	0,426345563
Score	61,81258875

Sumber: *NeuroSolutions for Excel*, 2017

13. Langkah terakhir dalam pemodelan ini adalah mencari nilai debit pemodelan. Untuk mendapatkan nilai debit pemodelan pada baris data yang sudah diambil secara acak pada langkah nomor 5, klik ikon *Apply New Data*. Debit yang baru atau debit pemodelan akan muncul pada kolom AWLR yang sebelumnya sudah kita pindah ke sebelah kanannya.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggal	Jawi	Kasri	AWLR					
84	538	517	607	367	609	551	220.6					
85	431	397	555	397	391	453	251.9					
86	413	412	410	378	413	428	186.0					
87	487	463	263	275	525	495	294.0					
88	435	367	458	402	718	582	219.9					
89	506	471	454	303	381	467	158.8					
90	650	381	605	629	968	636	348.1					
91	355	190	244	178	384	307	213.0					
92	322	258	330	334	422	370	227.1					
93	302	298	288	406	282	248	127.9					
94	291	206	221	187	367	238	141.9					
95	485	448	486	519	707	564	251.0					
96	501	367	377	335	472	448	305.6					
97	300	239	150	163	425	337	148.7					
98	168	116	165	171	252	174	110.5					
99	612	539	572	486	664	573	256.4					
100												
101												
102												

*Gambar 4.29. Apply New Data*Sumber: *NeuroSolutions for Excel, 2017*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggal	Jawi	Kasri	AWLR					
84	538	517	607	367	609	551	191,24	220.6				
85	431	397	555	397	391	453	69,51	251.9				
86	413	412	410	378	413	428	85,80	186.0				
87	487	463	263	275	525	495	133,56	294.0				
88	435	367	458	402	718	582	111,46	219.9				
89	506	471	454	303	381	467	138,54	158.8				
90	650	381	605	629	968	636	279,27	348.1				
91	355	190	244	178	384	307	170,45	213.0				
92	322	258	330	334	422	370	167,03	227.1				
93	302	298	288	406	282	248	35,03	127.9				
94	291	206	221	187	367	238	91,99	141.9				
95	485	448	486	519	707	564	68,94	251.0				
96	501	367	377	335	472	448	235,45	305.6				
97	300	239	150	163	425	337	102,33	148.7				
98	168	116	165	171	252	174	83,31	110.5				
99	612	539	572	486	664	573	159,68	256.4				
100												
101												
102												

*Gambar 4.30. Data debit pemodelan*Sumber: *NeuroSolutions for Excel, 2017*

#### 4.5.3. Perhitungan Kesalahan Relatif (KR) dan Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE)

##### a. Perhitungan Kesalahan Relatif (KR)

Salah satu parameter keberhasilan yang digunakan dalam analisis ini adalah Kesalahan Relatif. Nilai ini didapatkan dengan membandingkan data debit asli dan debit pemodelan pada set data *production*.

Tabel 4.32. Perhitungan Kesalahan Relatif

<b>Winong</b>	<b>Tanggul</b>	<b>Jawi</b>	<b>Kasri</b>	<b>Wilu</b>	<b>Prigen</b>	<b>AWLR</b>	<b>AWLR<sub>output</sub></b>	<b>KR (%)</b>
538	367	609	551	515	536	<b>220,64</b>	<b>191,24</b>	13,32
431	397	391	453	343	636	<b>251,94</b>	<b>69,51</b>	72,41
413	378	413	428	714	406	<b>186,03</b>	<b>85,80</b>	53,88
487	275	525	495	500	460	<b>293,99</b>	<b>133,56</b>	54,57
435	402	718	582	1289	810	<b>219,85</b>	<b>111,46</b>	49,30
506	303	381	467	692	479	<b>158,75</b>	<b>138,54</b>	12,73
650	629	968	636	875	865	<b>348,11</b>	<b>279,27</b>	19,77
355	178	384	307	404	456	<b>213,00</b>	<b>170,45</b>	19,98
322	334	422	370	519	510	<b>227,13</b>	<b>167,03</b>	26,46
302	406	282	248	530	372	<b>127,90</b>	<b>35,03</b>	72,61
291	187	367	238	185	332	<b>141,93</b>	<b>91,99</b>	35,19
485	519	707	564	661	572	<b>250,97</b>	<b>68,94</b>	72,53
501	335	472	448	576	470	<b>305,59</b>	<b>235,45</b>	22,95
300	163	425	337	427	415	<b>148,68</b>	<b>102,33</b>	31,17
168	171	252	174	251	261	<b>110,47</b>	<b>83,31</b>	24,59
612	486	664	573	737	747	<b>256,35</b>	<b>159,68</b>	37,71
Rerata								<b>38,7</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Contoh perhitungan (baris 1):

$$\begin{aligned}
 K_{r1} &= \left| \frac{X_a - X_b}{X_a} \right| \\
 &= \left| \frac{220,64 - 220,6}{220,64} \right| = 13,32 \%
 \end{aligned}$$

Dari contoh tersebut, didapatkan nilai kesalahan relatif rerata untuk kombinasi jaringan [046] Wn-Br-R-T-J-K) adalah sebesar 38,7 %. Nilai ini nantinya akan dibandingkan dengan 380 kombinasi jaringan yang lain.

##### b. Perhitungan Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE)

Parameter keberhasilan lain yang digunakan dalam analisis ini adalah Efisiensi *Nash-Sutcliffe*. Berbeda dengan Kesalahan Relatif yang mengambil nilai rata-rata, nilai ini didapatkan dengan membandingkan satu per satu (*head to head*) data debit asli dan debit pemodelan pada set data *production*.

Tabel 4.33. Perhitungan Efisiensi *Nash-Sutcliffe*

No.	$Q_o$	$Q_m$	$Q_o - Q_m$	$Q_o - \bar{Q}_o$	$(Q_o - Q_m)^2$	$(Q_o - \bar{Q}_o)^2$
1	220,64	191,24	29,40	4,31	864,24	18,55
2	251,94	69,51	182,43	35,61	33.282,45	1.267,88
3	186,03	85,80	100,23	-30,30	10.045,28	918,25
4	293,99	133,56	160,43	77,66	25.736,83	6.030,65
5	219,85	111,46	108,39	3,52	11.748,75	12,37
6	158,75	138,54	20,21	-57,58	408,37	3.315,77
7	348,11	279,27	68,84	131,78	4.738,38	17.365,25
8	213,00	170,45	42,55	-3,33	1.810,50	11,11
9	227,13	167,03	60,10	10,80	3.611,76	116,58
10	127,90	35,03	92,87	-88,43	8.624,47	7.820,34
11	141,93	91,99	49,94	-74,40	2.493,98	5.535,76
12	250,97	68,94	182,03	34,64	33.134,85	1.199,61
13	305,59	235,45	70,14	89,26	4.920,04	7.966,86
14	148,68	102,33	46,35	-67,66	2.148,07	4.577,54
15	110,47	83,31	27,16	-105,86	737,80	11.206,91
16	256,35	159,68	96,67	40,02	9.344,52	1.601,38
<b>Rerata</b>	<b>216,33</b>					
<b>Total</b>					<b>153.650</b>	<b>68.965</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Contoh perhitungan (baris 1):

$$\begin{aligned}
 NSE &= 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \\
 &= 1 - \frac{153.650}{68.965} \\
 &= -1,228
 \end{aligned}$$

Dari contoh tersebut, didapatkan nilai Efisiensi *Nash-Sutcliffe* untuk kombinasi jaringan [046] Wn-Br-R-T-J-K) adalah sebesar -1,228 (tidak memenuhi). Nilai ini nantinya akan dibandingkan dengan 380 kombinasi jaringan yang lain.

#### 4.5.4. Pemilihan Bobot, Jumlah Epoch, dan Jenis Data

Berdasarkan beberapa percobaan yang sudah dilakukan, terdapat beberapa aspek yang mempengaruhi keandalan JST. Mengingat studi ini menganalisa banyak sekali konfigurasi data hujan, maka menjadi sebuah hal yang menyulitkan apabila melakukan tiap konfigurasi tersebut dengan pembobotan data serta jumlah epoch yang berbeda. Selain itu, basis data hidrologi yang digunakan juga harus dipertimbangkan. Dengan kata lain, perlu ditetapkan tipe yang dianggap terbaik (dalam arti sesuai) bagi data yang ada pada studi ini.

### a. Pemilihan Bobot

Pemilihan bobot, merupakan pembagian data menjadi set data *Training*, *Cross Validation*, dan *Testing*. Prosentase pembagian yang ideal tentu akan memberikan hasil yang lebih baik. Beberapa penelitian terdahulu yang dipresentasikan dan dipublikasikan pada acara “*The 2nd International Conference of Water Resources Development and Environmental Protection (ICWRDEP) 2017*” menyajikan hasil tentang pemilihan bobot. Keterkaitan studi ini dengan 2 studi tersebut adalah sama-sama menyertakan data hujan dan data debit.

Menurut Ima Faridhotin (2017), dalam studinya yang meramalkan tinggi muka air di Sungai Bengawan Solo Hilir akibat adanya bendung gerak, bobot terbaik diperoleh pada pemilihan bobot 60-25-15, sedikit lebih baik dibandingkan bobot 60-30-10, dan jauh lebih baik dibandingkan bobot 70-20-10. Sedangkan Nevandria Satrya Yudha (2017), yang meramalkan kualitas air dengan mempertimbangkan pengaruh curah hujan dan debit sungai, menyimpulkan bahwa pembagian bobot terbaik adalah 60-20-20, lebih baik dibandingkan 50-30-20 dan 60-30-10. Beberapa pendapat ini memberikan hipotesa bahwa set data *training* sebesar 60% sudah cukup baik.

Berikut merupakan variasi pemilihan bobot yang dilakukan pada studi ini:

Tabel 4.34. Perbandingan Nilai KR (Variasi Pemilihan Bobot dan Epoch)

No . .	Prosentase	Epoch			
		500	1000	1500	2000
1	60-15-25	24,1	24,0	41,2	19,2
2	60-25-15	19,8	<b>17,7</b>	18,9	23,6
3	65-20-15	19,5	19,8	20,0	23,3
4	65-25-10	28,7	26,4	37,3	28,4
5	70-15-15	24,0	18,6	19,3	31,9
6	70-20-10	29,0	31,4	21,9	22,9

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil percobaan pada Tabel 4.34, maka nilai bobot 60-25-15 dianggap merupakan bobot terbaik. Percobaan tersebut menggunakan data masukan dari 9 buah stasiun eksisting (seluruh stasiun).

### b. Jumlah Epoch

Aspek lain yang masih termasuk dalam pengaturan saat menjalankan aplikasi adalah jumlah *Epoch*. Secara *default*, *NeuroSolutions* menetapkan jumlah *Epoch* sebesar 1000. *Epoch* yang lebih besar belum tentu menjamin kualitas data yang lebih baik, karena pada umumnya bahkan sebelum mencapai *Epoch* 1000, angka MSE sudah memiliki

pola/kecenderungan yang konstan. Berdasarkan Tabel 4.34, percobaan tersebut menunjukkan bahwa Epoch 1000 cenderung lebih baik dibandingkan *Epoch* 500 dan 2000.

Penelitian yang dilakukan oleh Ima Faridhotin (2017) menunjukkan bahwa pemodelan dengan *Epoch* 1000 sedikit lebih baik dibandingkan *Epoch* 500, dan jauh lebih baik dibandingkan *Epoch* 2000. Sedangkan Nevandria Satrya Yudha (2017) mengungkapkan pendapat yang senada, bahwa *Epoch* 1000 relatif lebih baik dibandingkan *Epoch* 5000, dan jauh lebih baik lagi jika dibandingkan dengan *Epoch* 10000.

### c. Jenis Data

Secara mendasar, pada studi ini pemodelan JST dapat dilakukan dengan basis data harian maupun bulanan. Adanya beberapa perlakuan tambahan seperti eliminasi data hujan yang bernilai 0 (hari tanpa hujan dan bulan tanpa hujan), serta eliminasi data outlier juga memberikan pengaruh terhadap hasil pemodelan JST. Perbedaan basis data mengakibatkan jumlah data yang berbeda beserta karakteristiknya. Percobaan-percobaan tersebut disajikan pada menggunakan bobot 60-25-15 dan *Epoch* 1000 sebagai berikut:

Tabel 4.35. Perbandingan Nilai KR Akibat Variasi Jenis Data

No.	Jenis	Perlakuan	Jumlah Data	Kesalahan Relatif (%)			
				1	2	3	Rerata
1	Harian	Lengkap, ada data 0	3653	30,9	30,2	33,3	31,5
2	Harian	Tidak ada data 0	373	28,2	24,4	26,6	26,4
3	Bulanan	Lengkap, ada data 0	120	23,0	22,4	19,2	21,5
4	Bulanan	Tidak ada data 0	82	13,1	12,4	14,6	13,4
5	Bulanan	Tidak ada data <i>outlier</i>	69	21,3	13,6	16,1	17,0

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada Tabel 4.35, data bulanan selalu memberikan hasil yang lebih memuaskan dibandingkan dengan data harian. Kemudian, data bulanan yang bulan keringnya (hujan bulanan = 0) dihilangkan merupakan variasi dengan nilai KR terkecil. Hal ini mungkin disebabkan karena pola hujan dan debit yang cukup seragam, meskipun beberapa nilai hujan bulanan berada di luar ambang *outlier*. Sehingga, data bulanan ini yang kemudian akan digunakan dalam analisis selanjutnya.

Mempertimbangkan ketiga aspek tersebut, semua konfigurasi data yang mencakup 381 buah kombinasi jaringan akan menggunakan hujan bulanan tanpa bulan kering, jumlah epoch sebesar 1000, dengan pemilihan bobot 60% - 25% - 15%.

#### 4.5.5. Pengujian Data

Tabel 4.36. Variabel Masukan dan Keluaran dalam JST

No.	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak	AWLR
	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	AWLR
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
<i>a. Training Data</i>										
1	314	297	281	264	369	280	285	297	365	<b>398,37</b>
2	120	147	86	108	235	235	180	501	190	<b>77,69</b>
3	225	219	213	143	254	225	325	283	242	<b>38,12</b>
4	538	517	607	367	609	551	515	536	399	<b>220,64</b>
5	431	397	555	397	391	453	343	636	460	<b>251,94</b>
6	53	74	72	34	51	38	15	51	27	<b>8,61</b>
7	77	35	36	55	161	83	181	242	17	<b>114,58</b>
8	183	163	136	110	191	125	144	219	105	<b>62,30</b>
9	266	141	208	260	274	320	195	363	111	<b>23,18</b>
10	354	343	300	315	480	380	696	507	182	<b>366,32</b>
11	87	79	49	39	146	105	100	181	50	<b>178,86</b>
12	302	387	316	200	308	260	166	260	240	<b>24,88</b>
13	195	317	317	321	422	307	386	403	294	<b>86,06</b>
14	164	112	100	114	338	169	273	377	145	<b>266,79</b>
15	282	219	182	137	210	200	267	246	105	<b>25,80</b>
16	413	412	410	378	413	428	714	406	249	<b>186,03</b>
17	85	52	54	47	68	58	70	73	30	<b>54,52</b>
18	222	128	61	99	255	207	240	198	84	<b>18,47</b>
19	463	354	384	310	452	374	321	424	287	<b>388,37</b>
20	487	463	263	275	525	495	500	460	489	<b>293,99</b>
21	268	282	299	294	470	291	234	539	402	<b>407,62</b>
22	201	193	262	273	305	208	211	316	347	<b>204,96</b>
23	29	72	60	39	115	63	125	94	48	<b>30,43</b>
24	399	343	300	418	318	366	366	423	362	<b>21,52</b>
25	435	367	458	402	718	582	1289	810	428	<b>219,85</b>
26	226	344	358	314	435	311	416	537	413	<b>100,55</b>
27	371	326	300	307	495	352	348	459	390	<b>21,70</b>
28	386	356	217	247	518	320	593	580	242	<b>32,31</b>
29	373	367	311	192	451	378	458	579	131	<b>74,02</b>
30	506	471	454	303	381	467	692	479	230	<b>158,75</b>
31	488	512	504	441	530	576	601	483	370	<b>29,13</b>
32	177	207	171	160	291	255	285	353	177	<b>152,09</b>
33	171	156	178	202	184	164	244	338	210	<b>79,28</b>
34	206	185	310	281	197	245	257	298	393	<b>33,62</b>
35	16	18	26	21	45	27	12	54	9	<b>11,00</b>
36	447	456	308	241	365	475	391	347	303	<b>16,99</b>
37	112	141	126	95	129	109	80	229	63	<b>56,45</b>
38	85	120	93	210	164	97	120	216	100	<b>29,80</b>

Lanjutan Tabel 4.36 Variabel Masukan dan Keluaran dalam JST

No.	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak	<i>AWLR</i>
	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	<i>AWLR</i>
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
39	650	381	605	629	968	636	875	865	796	<b>348,11</b>
40	355	190	244	178	384	307	404	456	302	<b>213,00</b>
41	322	258	330	334	422	370	519	510	423	<b>227,13</b>
42	413	318	324	308	402	422	386	426	437	<b>455,71</b>
43	302	298	288	406	282	248	530	372	305	<b>127,90</b>
44	291	206	221	187	367	238	185	332	273	<b>141,93</b>
45	332	169	348	322	559	291	602	664	371	<b>93,70</b>
46	485	448	486	519	707	564	661	572	655	<b>250,97</b>
47	99	203	244	180	234	212	199	123	81	<b>58,85</b>
48	501	367	377	335	472	448	576	470	402	<b>305,59</b>
49	127	189	189	223	217	169	141	128	195	<b>49,43</b>
50	316	355	337	332	400	265	382	429	240	<b>45,35</b>
<b>a. Cross Validation Data</b>										
51	511	453	500	290	579	509	667	606	509	<b>628,70</b>
52	148	252	211	177	310	310	195	573	127	<b>77,98</b>
53	523	448	403	450	920	462	1521	1249	355	<b>160,45</b>
54	167	145	155	200	336	147	135	438	157	<b>116,35</b>
55	300	239	150	163	425	337	427	415	233	<b>148,68</b>
56	291	299	222	196	282	346	319	377	224	<b>109,44</b>
57	165	75	146	123	176	120	77	210	86	<b>19,19</b>
58	60	49	47	21	192	163	157	100	55	<b>23,02</b>
59	413	412	406	362	388	394	357	557	195	<b>110,57</b>
60	168	116	165	171	252	174	251	261	194	<b>110,47</b>
61	207	196	178	156	262	190	171	290	130	<b>72,63</b>
62	434	365	378	368	623	432	410	736	404	<b>122,09</b>
63	397	344	389	325	580	423	1064	313	265	<b>134,52</b>
64	12	16	11	18	57	15	12	193	46	<b>48,38</b>
65	26	27	31	27	29	36	58	133	26	<b>44,99</b>
66	54	35	85	71	49	46	32	39	253	<b>59,17</b>
67	99	74	134	106	129	93	125	114	66	<b>63,60</b>
68	193	180	92	110	224	225	234	311	98	<b>16,99</b>
69	91	71	58	23	68	48	110	79	28	<b>14,47</b>
70	96	71	64	59	113	89	111	120	142	<b>67,72</b>
<b>b. Testing Data</b>										
71	448	388	317	734	633	475	517	629	419	<b>420,21</b>
72	152	201	196	176	184	153	268	295	181	<b>40,72</b>
73	140	68	37	25	97	136	116	87	62	<b>32,51</b>
74	72	84	118	96	147	124	83	77	89	<b>49,38</b>
75	733	324	265	212	445	373	326	498	137	<b>246,27</b>
76	313	321	302	266	647	393	607	726	472	<b>534,07</b>
77	612	539	572	486	664	573	737	747	422	<b>256,35</b>
78	116	191	231	201	373	236	218	367	247	<b>50,43</b>

Lanjutan Tabel 4.36 Variabel Masukan dan Keluaran dalam JST

No.	Winong	Bareng	Randupitu	Tanggul	Jawi	Kasri	Wilo	Prigen	Bekacak	<b>AWLR</b>
	Wn	Br	Rp	Tg	Jw	Ks	Wl	Pr	Bk	<b>AWLR</b>
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
79	202	192	182	138	166	229	144	187	96	<b>19,87</b>
80	593	502	645	567	541	655	486	667	329	<b>307,15</b>
81	475	404	552	329	592	444	456	677	600	<b>535,48</b>
82	260	132	169	86	222	223	150	226	198	<b>21,04</b>
<i>c. Production Data</i>										
4	538	517	607	367	609	551	515	536	399	<b>220,64</b>
5	431	397	555	397	391	453	343	636	460	<b>251,94</b>
16	413	412	410	378	413	428	714	406	249	<b>186,03</b>
20	487	463	263	275	525	495	500	460	489	<b>293,99</b>
25	435	367	458	402	718	582	1289	810	428	<b>219,85</b>
30	506	471	454	303	381	467	692	479	230	<b>158,75</b>
39	650	381	605	629	968	636	875	865	796	<b>348,11</b>
40	355	190	244	178	384	307	404	456	302	<b>213,00</b>
41	322	258	330	334	422	370	519	510	423	<b>227,13</b>
43	302	298	288	406	282	248	530	372	305	<b>127,90</b>
44	291	206	221	187	367	238	185	332	273	<b>141,93</b>
46	485	448	486	519	707	564	661	572	655	<b>250,97</b>
48	501	367	377	335	472	448	576	470	402	<b>305,59</b>
55	300	239	150	163	425	337	427	415	233	<b>148,68</b>
60	168	116	165	171	252	174	251	261	194	<b>110,47</b>
77	612	539	572	486	664	573	737	747	422	<b>256,35</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### 4.5.5.1. Pengujian 8 Stasiun

Tabel 4.37. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 8 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
001	1	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	22,2	0,366	Memenuhi	0,010	0,261	0,211
002	2	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	21,0	0,275	Tidak Memenuhi	0,022	0,110	0,217
003	3	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	18,5	0,615	Memenuhi	<b>0,007</b>	0,251	0,226
004	4	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	16,7	<b>0,646</b>	Memenuhi	0,052	0,102	0,232
005	5	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	22,5	0,165	Tidak Memenuhi	0,010	0,569	0,276
<b>006</b>	<b>6</b>	<b>Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk</b>	<b>15,2</b>	0,476	Memenuhi	0,035	<b>0,069</b>	<b>0,172</b>
007	7	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	21,9	0,483	Memenuhi	0,023	0,130	0,226
008	8	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	23,6	0,043	Tidak Memenuhi	0,012	0,148	0,192
009	9	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	20,6	0,380	Memenuhi	0,120	0,139	0,182
<b>006</b>	<b>6</b>	<b>Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk</b>	<b>15,2</b>	<b>0,476</b>	<b>Memenuhi</b>	<b>0,035</b>	<b>0,069</b>	<b>0,172</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian jaringan 8 stasiun, kombinasi terbaik adalah nomor 006 yang terdiri dari Stasiun Winong, Bareng, Randupitu, Jawi, Kasri, Wilo, Prigen, dan Bekacak (KR, MSE Cross, dan NMAE minimum) dengan KR = 15,2% dan kriteria NSE ‘*Memenuhi*’.

#### 4.5.5.2. Pengujian 7 Stasiun

Tabel 4.38. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 7 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
010	1	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl	14,0	0,683	Memenuhi	0,013	0,642	0,212
011	2	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk	25,7	0,084	Tidak Memenuhi	0,022	0,420	0,263
012	3	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk	21,2	0,295	Tidak Memenuhi	0,013	0,161	0,229
013	4	Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk	15,7	0,700	Memenuhi	0,052	0,180	0,233
014	5	Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk	25,9	-0,249	Tidak Memenuhi	0,020	0,219	0,245
015	6	Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	19,9	0,266	Tidak Memenuhi	<b>0,008</b>	0,177	0,197
016	7	Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	21,3	0,189	Tidak Memenuhi	0,031	0,216	0,210
017	8	Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	17,5	0,536	Memenuhi	0,009	0,238	0,234
018	9	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr	23,1	0,082	Tidak Memenuhi	0,043	0,163	0,240
019	10	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk	14,4	0,527	Memenuhi	0,087	0,097	0,201
020	11	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk	18,5	0,530	Memenuhi	0,051	0,183	0,170
021	12	Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk	23,6	0,349	Tidak Memenuhi	0,054	0,075	0,198
022	13	Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	16,1	0,705	Memenuhi	0,045	<b>0,072</b>	0,221
023	14	Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	20,5	0,374	Memenuhi	0,038	0,100	<b>0,163</b>
024	15	Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	13,8	0,715	Memenuhi	0,117	0,148	0,200
025	16	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr	20,5	0,398	Memenuhi	0,021	0,432	0,190
026	17	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk	14,0	0,593	Memenuhi	0,039	0,182	0,180
027	18	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk	25,3	-0,458	Tidak Memenuhi	0,030	0,255	0,250
028	19	Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	23,9	0,376	Memenuhi	0,032	0,129	0,196
029	20	Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	12,9	0,676	Memenuhi	0,025	0,443	0,214
030	21	Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	18,0	0,571	Memenuhi	0,038	0,111	0,210
031	22	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr	18,2	0,520	Memenuhi	0,021	0,118	0,208
032	23	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk	19,7	0,540	Memenuhi	0,021	0,118	0,390
033	24	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	12,8	0,686	Memenuhi	0,048	0,124	0,220
<b>034</b>	<b>25</b>	<b>Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>13,5</b>	<b>0,748</b>	<b>Memenuhi</b>	<b>0,015</b>	<b>0,599</b>	<b>0,179</b>
035	26	Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	21,4	0,070	Tidak Memenuhi	0,036	0,489	0,231
036	27	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr	35,6	-0,962	Tidak Memenuhi	0,015	0,183	0,205
037	28	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	32,6	-0,189	Tidak Memenuhi	0,032	0,200	0,168

Lanjutan Tabel 4.38 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 7 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
038	29	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	17,0	0,521	Memenuhi	0,054	0,081	0,210
039	30	Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	22,6	0,037	Tidak Memenuhi	0,024	0,207	0,619
040	31	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	26,2	0,073	Tidak Memenuhi	0,034	0,236	0,311
041	32	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	14,8	0,600	Memenuhi	0,012	0,162	0,206
042	33	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	20,3	0,474	Memenuhi	0,020	0,393	0,221
043	34	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	<b>11,8</b>	0,628	Memenuhi	0,088	0,191	1,060
044	35	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	23,6	0,253	Tidak Memenuhi	0,012	0,154	0,221
045	36	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	25,5	-0,149	Tidak Memenuhi	0,078	0,100	0,200
<b>034</b>	<b>25</b>	<b>Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>13,5</b>	<b>0,748</b>	<b>Memenuhi</b>	<b>0,015</b>	<b>0,599</b>	<b>0,179</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian jaringan 7 stasiun, kombinasi terbaik adalah nomor 034 yang terdiri dari Stasiun Winong, Randupitu, Tanggul, Jawi, Wilo, Prigen, dan Bekacak (NSE maksimum, serta MSE Train dan NMAE lebih kecil dibandingkan nomor 043 yang memiliki KR minimum ) dengan KR = 13,5% dan kriteria NSE ‘*Memenuhi*’.

#### 4.5.5.3. Pengujian 6 Stasiun

Tabel 4.39. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 6 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
046	1	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Ks	38,7	-1,228	Tidak Memenuhi	0,041	0,124	0,256
047	2	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Bk	22,4	0,246	Tidak Memenuhi	0,052	0,082	0,183
048	3	Wn-Br-Rp-Tg-Pr-Bk	16,1	0,602	Memenuhi	0,043	0,259	0,201
049	4	Wn-Br-Rp-Wl-Pr-Bk	24,6	0,209	Tidak Memenuhi	0,117	0,136	0,200
050	5	Wn-Br-Ks-Wl-Pr-Bk	14,6	0,588	Memenuhi	0,067	0,120	0,199
051	6	Wn-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	20,9	0,236	Tidak Memenuhi	0,032	0,261	0,213
052	7	Tg-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	23,3	0,159	Tidak Memenuhi	0,022	0,158	0,231
053	8	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Wl	17,4	0,524	Memenuhi	0,021	0,134	0,227
054	9	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Bk	18,1	0,546	Memenuhi	0,027	0,147	0,219
055	10	Wn-Br-Rp-Jw-Pr-Bk	17,4	0,600	Memenuhi	0,093	0,098	0,209
056	11	Wn-Br-Tg-Wl-Pr-Bk	14,1	<b>0,774</b>	<b>Baik</b>	0,031	0,222	0,208
057	12	Wn-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk	17,6	0,336	Tidak Memenuhi	0,034	0,131	0,203
058	13	Br-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	36,5	-1,072	Tidak Memenuhi	0,043	0,120	0,206
059	14	Wn-Br-Rp-Tg-Jw-Pr	34,3	-0,658	Tidak Memenuhi	0,018	0,178	0,200
060	15	Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Bk	23,0	-0,006	Tidak Memenuhi	0,030	0,241	0,199
061	16	Wn-Br-Rp-Ks-Pr-Bk	27,9	-0,194	Tidak Memenuhi	0,039	0,143	0,315
062	17	Wn-Br-Jw-Wl-Pr-Bk	24,6	0,050	Tidak Memenuhi	0,027	0,140	0,200

Lanjutan Tabel 4.39 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 6 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
063	18	Wn-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	25,9	-0,282	Tidak Memenuhi	0,015	0,252	0,228
064	19	Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	16,4	0,453	Memenuhi	0,016	0,130	0,220
065	20	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Wl	17,3	0,450	Memenuhi	0,021	0,184	0,204
066	21	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Bk	22,8	0,074	Tidak Memenuhi	0,061	0,144	0,243
067	22	Wn-Br-Tg-Jw-Pr-Bk	18,4	0,551	Memenuhi	0,096	0,133	0,225
068	23	Wn-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk	25,5	-0,986	Tidak Memenuhi	<b>0,009</b>	0,109	0,167
069	24	Br-Rp-Ks-Wl-Pr-Bk	21,2	0,204	Tidak Memenuhi	0,058	0,274	0,208
070	25	Wn-Br-Rp-Tg-Ks-Pr	17,3	0,367	Memenuhi	0,103	0,104	0,195
071	26	Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Bk	15,5	0,564	Memenuhi	0,035	0,137	0,190
072	27	Wn-Br-Tg-Ks-Pr-Bk	23,9	0,111	Tidak Memenuhi	0,035	0,076	0,214
<b>073</b>	<b>28</b>	<b>Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>12,2</b>	<b>0,801</b>	<b>Baik</b>	<b>0,054</b>	<b>0,060</b>	<b>0,196</b>
074	29	Br-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	17,3	0,548	Memenuhi	0,018	0,143	0,252
075	30	Wn-Br-Rp-Tg-Wl-Pr	19,7	0,373	Memenuhi	0,026	0,189	0,229
076	31	Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Bk	13,4	0,675	Memenuhi	0,024	0,087	0,193
077	32	Wn-Br-Jw-Ks-Pr-Bk	20,8	0,139	Tidak Memenuhi	0,022	0,319	0,199
078	33	Wn-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	34,0	-0,463	Tidak Memenuhi	0,031	0,141	<b>0,162</b>
079	34	Rp-Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	19,9	0,453	Memenuhi	0,111	0,107	0,217
080	35	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl	13,9	0,558	Memenuhi	0,110	0,107	0,184
081	36	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Bk	28,0	-0,235	Tidak Memenuhi	0,026	0,138	0,205
082	37	Wn-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk	22,5	0,398	Memenuhi	0,025	0,777	0,181
083	38	Br-Rp-Tg-Wl-Pr-Bk	13,3	0,685	Memenuhi	0,026	0,132	0,214
084	39	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Pr	13,6	0,569	Memenuhi	0,101	0,100	0,187
085	40	Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Bk	19,2	0,432	Memenuhi	0,025	0,114	0,215
086	41	Wn-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk	13,6	0,675	Memenuhi	0,029	0,125	0,226
087	42	Br-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk	27,1	-3,090	Tidak Memenuhi	0,088	0,116	0,208
088	43	Wn-Br-Rp-Jw-Wl-Pr	27,3	0,162	Tidak Memenuhi	0,024	0,139	0,190
089	44	Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Bk	18,5	0,408	Memenuhi	0,037	0,224	0,200
090	45	Wn-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk	14,0	0,711	Memenuhi	0,017	0,140	0,186
091	46	Br-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	20,1	0,287	Tidak Memenuhi	0,062	0,086	0,229
092	47	Wn-Br-Rp-Ks-Wl-Pr	16,0	0,635	Memenuhi	0,040	0,347	0,209
093	48	Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Bk	25,4	-0,595	Tidak Memenuhi	0,098	0,091	0,222
094	49	Wn-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	32,3	-0,400	Tidak Memenuhi	0,026	0,360	0,200
095	50	RP-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	19,9	0,439	Memenuhi	0,034	0,105	0,214
096	51	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Wl	15,1	0,543	Memenuhi	0,020	0,150	0,204
097	52	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk	26,1	-0,023	Tidak Memenuhi	0,060	0,065	0,183
098	53	Br-Rp-Tg-Jw-Pr-Bk	21,4	0,324	Tidak Memenuhi	0,031	0,172	0,179
099	54	Wn-Br-Tg-Jw-Ks-Pr	17,2	0,685	Memenuhi	0,026	0,088	0,298
100	55	Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk	15,4	0,581	Memenuhi	0,028	0,156	0,216
101	56	Br-Rp-Tg-Ks-Pr-Bk	24,3	-0,339	Tidak Memenuhi	0,106	0,127	0,223
102	57	Wn-Br-Tg-Jw-Wl-Pr	15,5	0,550	Memenuhi	0,074	0,107	0,195

Lanjutan Tabel 4.39 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 6 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
103	58	Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk	21,7	-0,399	Tidak Memenuhi	0,078	0,065	0,309
104	59	Br-Rp-Jw-Ks-Pr-Bk	27,4	0,043	Tidak Memenuhi	0,041	0,086	0,197
105	60	Wn-Br-Tg-Ks-Wl-Pr	<b>11,2</b>	0,662	Memenuhi	0,040	0,163	0,196
106	61	Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk	25,6	0,049	Tidak Memenuhi	0,014	0,933	0,182
107	62	Br-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	17,4	0,494	Memenuhi	0,028	0,127	0,206
108	63	Wn-Br-Jw-Ks-Wl-Pr	28,0	-0,507	Tidak Memenuhi	0,049	0,199	0,237
109	64	Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	14,7	0,685	Memenuhi	0,016	0,256	0,181
110	65	RP-Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	17,6	0,585	Memenuhi	0,045	0,118	0,225
111	66	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl	21,5	0,199	Tidak Memenuhi	0,036	0,217	0,209
112	67	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Bk	17,8	0,607	Memenuhi	0,053	0,106	0,215
113	68	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr	20,1	-0,174	Tidak Memenuhi	0,057	0,102	0,184
114	69	Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Bk	20,8	0,186	Tidak Memenuhi	0,100	0,093	0,228
115	70	Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr	15,6	0,539	Memenuhi	0,029	0,220	0,423
116	71	Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Bk	20,3	-0,092	Tidak Memenuhi	0,037	0,134	0,228
117	72	Wn-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr	21,4	0,087	Tidak Memenuhi	0,057	0,244	0,343
118	73	Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Bk	20,7	0,490	Memenuhi	0,017	0,078	0,341
119	74	Wn-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr	19,8	0,405	Memenuhi	0,015	0,227	0,238
120	75	Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	22,5	0,265	Tidak Memenuhi	0,064	0,521	0,213
121	76	Wn-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	17,9	0,460	Memenuhi	0,021	0,214	0,188
122	77	Rp-Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	14,5	0,671	Memenuhi	0,023	0,417	0,231
123	78	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Wl	18,5	0,444	Memenuhi	0,013	0,301	0,195
124	79	Br-Rp-Tg-Jw-Ks-Pr	20,5	0,258	Tidak Memenuhi	0,087	0,093	0,282
125	80	Br-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr	19,6	0,289	Tidak Memenuhi	0,041	0,642	0,187
126	81	Br-Rp-Tg-Ks-Wl-Pr	24,7	-0,198	Tidak Memenuhi	0,018	0,196	0,255
127	82	Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr	22,5	0,003	Tidak Memenuhi	0,079	0,087	0,243
128	83	Br-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	18,3	0,524	Memenuhi	0,025	0,201	0,273
129	84	RP-Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	15,5	0,571	Memenuhi	0,047	0,122	0,202
<b>073</b>	<b>28</b>	<b>Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>12,2</b>	<b>0,801</b>	<b>Baik</b>	<b>0,054</b>	<b>0,060</b>	<b>0,196</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian jaringan 6 stasiun, kombinasi terbaik adalah nomor 073 yang terdiri dari Stasiun Winong, Randupitu, Jawi, Wilo, Prigen, dan Bekacak (NSE maksimum dan MSE Cross minimum, serta KR dan NMAE lebih kecil dibandingkan nomor 056 yang sama-sama memiliki kriteria NSE ‘Baik’) dengan KR = 12,2% dan kriteria NSE ‘Baik’.

#### 4.5.5.4. Pengujian 5 Stasiun

Tabel 4.40. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 5 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
130	1	Wn-Br-Rp-Tg-Jw	12,9	0,735	Memenuhi	0,047	0,086	0,230
131	2	Wn-Br-Rp-Tg-Bk	15,8	0,617	Memenuhi	0,038	0,146	0,206
132	3	Wn-Br-Rp-Pr-Bk	12,0	0,671	Memenuhi	0,081	0,088	0,203
133	4	Wn-Br-Wl-Pr-Bk	14,3	0,673	Memenuhi	0,044	0,339	<b>0,160</b>
134	5	Wn-Ks-Wl-Pr-Bk	14,0	0,723	Memenuhi	0,034	0,107	0,181
135	6	Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	22,4	0,157	Tidak Memenuhi	0,022	0,944	0,203
136	7	Wn-Br-Rp-Tg-Ks	18,1	0,459	Memenuhi	0,029	0,151	0,197
137	8	Wn-Br-Rp-Jw-Bk	19,8	0,395	Memenuhi	0,036	0,202	0,184
138	9	Wn-Br-Tg-Pr-Bk	26,2	0,136	Tidak Memenuhi	0,053	0,119	0,192
139	10	Wn-Rp-Wl-Pr-Bk	23,4	0,078	Tidak Memenuhi	0,023	0,107	0,259
140	11	Br-Ks-Wl-Pr-Bk	29,8	-0,311	Tidak Memenuhi	0,060	0,259	0,249
141	12	Wn-Br-Rp-Tg-Wl	12,7	0,604	Memenuhi	0,046	0,162	0,220
142	13	Wn-Br-Rp-Ks-Bk	12,4	<b>0,781</b>	<b>Baik</b>	0,023	0,208	0,202
143	14	Wn-Br-Jw-Pr-Bk	24,9	0,129	Tidak Memenuhi	0,038	0,071	0,188
144	15	Wn-Tg-Wl-Pr-Bk	22,6	0,348	Tidak Memenuhi	0,027	0,170	0,224
145	16	RP-Ks-Wl-Pr-Bk	12,1	0,664	Memenuhi	0,048	0,089	0,201
146	17	Wn-Br-Rp-Tg-Pr	18,1	0,575	Memenuhi	0,084	0,108	0,251
147	18	Wn-Br-Rp-Wl-Bk	14,7	0,639	Memenuhi	0,120	0,139	0,200
148	19	Wn-Br-Ks-Pr-Bk	12,2	<b>0,779</b>	<b>Baik</b>	0,026	0,214	0,247
149	20	Wn-Jw-Wl-Pr-Bk	30,5	-0,702	Tidak Memenuhi	0,028	0,080	0,202
150	21	Tg-Ks-Wl-Pr-Bk	17,7	0,518	Memenuhi	0,075	0,094	0,269
151	22	Wn-Br-Rp-Jw-Ks	26,6	-0,274	Tidak Memenuhi	0,047	0,116	0,190
152	23	Wn-Br-Tg-Jw-Bk	13,4	0,724	Memenuhi	0,024	0,216	0,201
153	24	Wn-Rp-Tg-Pr-Bk	16,1	0,624	Memenuhi	0,044	0,116	0,171
154	25	Br-Rp-Wl-Pr-Bk	25,1	-0,303	Tidak Memenuhi	0,054	0,301	0,256
155	26	Wn-Br-Rp-Jw-Wl	17,2	0,442	Memenuhi	0,063	0,125	0,177
156	27	Wn-Br-Tg-Ks-Bk	15,1	0,588	Memenuhi	0,056	0,125	0,202
157	28	Wn-Rp-Jw-Pr-Bk	20,2	0,599	Memenuhi	0,063	0,080	0,184
158	29	Br-Tg-Wl-Pr-Bk	19,1	0,407	Memenuhi	0,037	0,090	0,224
159	30	Wn-Br-Rp-Ks-Wl	20,5	0,427	Memenuhi	0,042	0,165	0,245
160	31	Wn-Br-Jw-Ks-Bk	27,0	0,048	Tidak Memenuhi	0,056	0,102	0,189
161	32	Wn-Tg-Jw-Pr-Bk	18,4	0,476	Memenuhi	0,082	0,122	0,217
162	33	Rp-Tg-Wl-Pr-Bk	13,7	0,704	Memenuhi	0,023	0,387	0,241
163	34	Wn-Br-Rp-Jw-Pr	25,8	0,326	Tidak Memenuhi	0,039	0,316	0,216
164	35	Wn-Br-Tg-Wl-Bk	25,0	0,124	Tidak Memenuhi	0,037	0,133	0,230
165	36	Wn-Rp-Ks-Pr-Bk	23,3	0,313	Tidak Memenuhi	0,024	0,341	0,201
166	37	Br-Jw-Wl-Pr-Bk	20,4	0,400	Memenuhi	0,044	0,071	0,179
167	38	Wn-Br-Rp-Ks-Pr	18,3	0,406	Memenuhi	0,038	0,133	0,205
168	39	Wn-Br-Jw-Wl-Bk	15,9	0,614	Memenuhi	0,120	0,138	0,168
169	40	Wn-Tg-Ks-Pr-Bk	12,3	0,677	Memenuhi	0,034	0,143	0,187
170	41	Rp-Jw-Wl-Pr-Bk	19,6	0,433	Memenuhi	0,026	0,215	0,194
171	42	Wn-Br-Rp-Wl-Pr	13,9	0,620	Memenuhi	0,024	0,210	0,235

Lanjutan Tabel 4.40 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 5 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
172	43	Wn-Br-Ks-Wl-Bk	29,0	0,102	Tidak Memenuhi	0,042	0,470	0,215
173	44	Wn-Jw-Ks-Pr-Bk	30,1	-0,339	Tidak Memenuhi	0,041	0,103	0,226
174	45	Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	34,6	-0,845	Tidak Memenuhi	0,039	0,185	0,246
175	46	Wn-Br-Tg-Jw-Ks	14,4	0,638	Memenuhi	0,037	0,097	0,195
176	47	Wn-Rp-Tg-Jw-Bk	18,0	0,519	Memenuhi	0,046	0,156	0,204
177	48	Br-Rp-Tg-Pr-Bk	18,3	0,508	Memenuhi	0,036	0,210	0,240
178	49	Wn-Br-Tg-Jw-Wl	20,2	0,538	Memenuhi	0,020	0,246	0,203
179	50	Wn-Rp-Tg-Ks-Bk	36,4	-0,646	Tidak Memenuhi	0,026	0,138	0,175
180	51	Br-Rp-Jw-Pr-Bk	22,1	0,346	Tidak Memenuhi	0,030	0,105	0,202
181	52	Wn-Br-Tg-Ks-Wl	18,6	0,344	Tidak Memenuhi	0,046	0,122	0,201
182	53	Wn-Rp-Jw-Ks-Bk	23,8	0,120	Tidak Memenuhi	0,042	0,163	0,217
183	54	Br-Tg-Jw-Pr-Bk	21,1	0,084	Tidak Memenuhi	0,048	0,166	0,230
184	55	Wn-Br-Jw-Ks-Wl	21,2	0,376	Memenuhi	0,031	0,290	0,210
185	56	Wn-Tg-Jw-Ks-Bk	16,7	0,608	Memenuhi	0,035	0,140	0,182
186	57	Rp-Tg-Jw-Pr-Bk	25,5	0,045	Tidak Memenuhi	0,081	0,082	0,246
187	58	Wn-Br-Tg-Jw-Pr	35,3	-0,462	Tidak Memenuhi	0,032	0,113	0,209
188	59	Wn-Rp-Tg-Wl-Bk	33,6	-0,851	Tidak Memenuhi	0,038	0,120	0,643
189	60	Br-Rp-Ks-Pr-Bk	20,2	-0,187	Tidak Memenuhi	0,031	0,186	0,194
190	61	Wn-Br-Tg-Ks-Pr	30,8	-1,096	Tidak Memenuhi	0,112	0,126	0,264
191	62	Wn-Rp-Jw-Wl-Bk	12,7	<b>0,759</b>	<b>Baik</b>	0,025	0,172	0,211
192	63	Br-Tg-Ks-Pr-Bk	21,1	0,292	Tidak Memenuhi	0,027	0,157	0,255
193	64	Wn-Br-Jw-Ks-Pr	18,8	0,503	Memenuhi	0,025	0,125	0,168
194	65	Wn-Tg-Jw-Wl-Bk	17,1	0,620	Memenuhi	0,024	0,081	0,222
195	66	Rp-Tg-Ks-Pr-Bk	23,6	-0,186	Tidak Memenuhi	0,064	0,096	0,234
196	67	Wn-Br-Tg-Wl-Pr	25,1	0,348	Tidak Memenuhi	0,035	0,202	0,225
<b>197</b>	<b>68</b>	<b>Wn-Rp-Ks-Wl-Bk</b>	<b>11,4</b>	<b>0,759</b>	<b>Baik</b>	0,035	0,126	0,198
198	69	Br-Jw-Ks-Pr-Bk	25,0	0,151	Tidak Memenuhi	0,020	0,170	0,216
199	70	Wn-Br-Jw-Wl-Pr	19,7	0,463	Memenuhi	0,050	0,111	0,192
200	71	Wn-Tg-Ks-Wl-Bk	12,7	0,735	Memenuhi	0,117	0,128	0,206
201	72	Rp-Jw-Ks-Pr-Bk	19,0	0,409	Memenuhi	0,029	0,098	0,205
202	73	Wn-Br-Ks-Wl-Pr	22,7	0,057	Tidak Memenuhi	0,030	0,242	0,223
203	74	Wn-Jw-Ks-Wl-Bk	18,0	0,445	Memenuhi	0,027	0,188	0,191
204	75	Tg-Jw-Ks-Pr-Bk	22,2	0,203	Tidak Memenuhi	0,063	0,091	0,216
205	76	Wn-Rp-Tg-Jw-Ks	15,0	0,634	Memenuhi	0,039	0,251	0,250
206	77	Br-Rp-Tg-Jw-Bk	36,1	-2,994	Tidak Memenuhi	0,059	0,093	0,248
207	78	Wn-Rp-Tg-Jw-Wl	19,0	0,449	Memenuhi	0,114	0,145	0,188
208	79	Br-Rp-Tg-Ks-Bk	20,3	0,334	Tidak Memenuhi	0,101	0,100	0,183
209	80	Wn-Rp-Tg-Ks-Wl	36,2	-1,238	Tidak Memenuhi	0,042	0,789	0,274
210	81	Br-Rp-Jw-Ks-Bk	18,2	0,557	Memenuhi	0,098	0,108	0,205
211	82	Wn-Rp-Jw-Ks-Wl	16,7	0,485	Memenuhi	0,045	0,154	0,219
212	83	Br-Tg-Jw-Ks-Bk	24,5	0,231	Tidak Memenuhi	0,035	0,183	0,236
213	84	Wn-Tg-Jw-Ks-Wl	18,1	0,585	Memenuhi	0,057	0,134	0,293
214	85	Rp-Tg-Jw-Ks-Bk	19,5	0,425	Memenuhi	0,034	0,173	0,249

Lanjutan Tabel 4.40 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 5 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
215	86	Wn-Rp-Tg-Jw-Pr	24,8	0,201	Tidak Memenuhi	0,023	0,461	0,180
216	87	Br-Rp-Tg-Wl-Bk	28,6	-0,308	Tidak Memenuhi	0,046	0,119	0,246
217	88	Wn-Rp-Tg-Ks-Pr	29,7	-0,668	Tidak Memenuhi	0,056	0,128	0,223
218	89	Br-Rp-Jw-Wl-Bk	17,7	0,341	Tidak Memenuhi	0,114	0,124	0,184
219	90	Wn-Rp-Jw-Ks-Pr	16,9	0,524	Memenuhi	0,024	0,188	0,202
220	91	Br-Tg-Jw-Wl-Bk	18,7	0,465	Memenuhi	0,046	0,165	0,197
221	92	Wn-Tg-Jw-Ks-Pr	18,9	0,445	Memenuhi	0,035	0,200	0,184
222	93	Rp-Tg-Jw-Wl-Bk	18,2	0,472	Memenuhi	0,040	0,146	0,224
223	94	Wn-Rp-Tg-Wl-Pr	37,1	-2,146	Tidak Memenuhi	0,024	0,121	0,311
224	95	Br-Rp-Ks-Wl-Bk	27,9	-0,030	Tidak Memenuhi	0,027	0,100	0,247
225	96	Wn-Rp-Jw-Wl-Pr	26,7	-0,316	Tidak Memenuhi	0,030	0,085	0,232
226	97	Br-Tg-Ks-Wl-Bk	16,4	0,415	Memenuhi	0,054	0,844	0,182
227	98	Wn-Tg-Jw-Wl-Pr	17,8	0,581	Memenuhi	<b>0,018</b>	0,196	0,233
228	99	Rp-Tg-Ks-Wl-Bk	14,1	0,714	Memenuhi	0,032	0,145	0,272
229	100	Wn-Rp-Ks-Wl-Pr	16,9	0,471	Memenuhi	0,023	0,245	0,233
230	101	Br-Jw-Ks-Wl-Bk	24,0	0,353	Tidak Memenuhi	0,045	0,173	0,221
231	102	Wn-Tg-Ks-Wl-Pr	18,1	0,334	Tidak Memenuhi	0,052	0,238	0,199
232	103	RP-Jw-Ks-Wl-Bk	17,2	0,546	Memenuhi	0,028	0,216	0,199
233	104	Wn-Jw-Ks-Wl-Pr	25,9	-0,999	Tidak Memenuhi	0,088	0,093	0,307
234	105	Tg-Jw-Ks-Wl-Bk	29,3	-0,067	Tidak Memenuhi	0,035	0,202	0,230
235	106	Br-Rp-Tg-Jw-Ks	20,3	0,338	Tidak Memenuhi	0,063	0,089	0,243
236	107	Br-Rp-Tg-Jw-Wl	20,3	0,307	Tidak Memenuhi	0,040	0,120	0,199
237	108	Br-Rp-Tg-Ks-Wl	24,7	-0,588	Tidak Memenuhi	0,085	0,104	0,265
238	109	Br-Rp-Jw-Ks-Wl	25,7	0,234	Tidak Memenuhi	0,028	<b>0,057</b>	0,188
239	110	Br-Tg-Jw-Ks-Wl	27,3	0,129	Tidak Memenuhi	0,048	0,162	0,210
240	111	Rp-Tg-Jw-Ks-Wl	13,7	0,597	Memenuhi	0,041	0,152	0,214
241	112	Br-Rp-Tg-Jw-Pr	16,0	0,573	Memenuhi	0,056	0,079	0,215
242	113	Br-Rp-Tg-Ks-Pr	18,5	-0,204	Tidak Memenuhi	0,045	0,141	0,207
243	114	Br-Rp-Jw-Ks-Pr	28,5	-1,283	Tidak Memenuhi	0,038	0,278	0,249
244	115	Br-Tg-Jw-Ks-Pr	21,8	0,281	Tidak Memenuhi	0,046	0,086	0,256
245	116	RP-Tg-Jw-Ks-Pr	15,7	0,529	Memenuhi	0,061	0,098	0,196
246	117	Br-Rp-Tg-Wl-Pr	15,1	0,381	Memenuhi	0,033	0,212	0,208
247	118	Br-Rp-Jw-Wl-Pr	32,7	-0,609	Tidak Memenuhi	0,019	0,236	0,186
248	119	Br-Tg-Jw-Wl-Pr	21,0	0,226	Tidak Memenuhi	0,042	0,185	0,207
249	120	RP-Tg-Jw-Wl-Pr	27,8	-0,044	Tidak Memenuhi	0,057	0,164	0,217
250	121	Br-Rp-Ks-Wl-Pr	15,6	0,174	Tidak Memenuhi	0,051	0,169	0,213
251	122	Br-Tg-Ks-Wl-Pr	23,6	-0,255	Tidak Memenuhi	0,049	0,139	0,253
252	123	Rp-Tg-Ks-Wl-Pr	19,3	0,170	Tidak Memenuhi	0,027	0,503	0,234
253	124	Br-Jw-Ks-Wl-Pr	20,4	0,146	Tidak Memenuhi	0,025	0,098	0,224
254	125	Rp-Jw-Ks-Wl-Pr	26,2	0,173	Tidak Memenuhi	0,118	0,119	0,179
255	126	Tg-Jw-Ks-Wl-Pr	16,0	0,602	Memenuhi	0,084	0,082	0,274
<b>197</b>	<b>68</b>	<b>Wn-Rp-Ks-Wl-Bk</b>	<b>11,4</b>	<b>0,759</b>	<b>Baik</b>	<b>0,035</b>	<b>0,126</b>	<b>0,198</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian jaringan 5 stasiun, kombinasi terbaik adalah nomor 197 yang terdiri dari Stasiun Winong, Randupitu, Kasri, Wilo, dan Bekacak (KR minimum, serta MSE Cross dan NMAE lebih kecil dibandingkan nomor 142, 148, 191 yang sama-sama memiliki kriteria NSE ‘Baik’) dengan KR = 11,4% dan kriteria NSE ‘Baik’.

#### 4.5.5.5. Pengujian 4 Stasiun

Tabel 4.41. Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 4 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
256	1	Wn-Br-Rp-Tg	15,8	0,436	Memenuhi	0,031	0,096	0,210
257	2	Wn-Br-Rp-Bk	12,1	0,741	Memenuhi	0,034	0,258	0,181
258	3	Wn-Br-Pr-Bk	<b>11,9</b>	<b>0,773</b>	<b>Baik</b>	0,047	0,121	0,166
259	4	Wn-Wl-Pr-Bk	12,2	0,667	Memenuhi	0,089	0,071	0,189
<b>260</b>	<b>5</b>	<b>Ks-Wl-Pr-Bk</b>	12,0	<b>0,783</b>	<b>Baik</b>	0,045	0,115	0,209
261	6	Wn-Br-Rp-Jw	39,6	-1,520	Tidak Memenuhi	0,044	0,061	0,213
262	7	Wn-Br-Tg-Bk	16,2	0,561	Memenuhi	0,054	0,159	0,214
263	8	Wn-Rp-Pr-Bk	18,1	0,545	Memenuhi	0,066	0,060	0,190
264	9	Br-Wl-Pr-Bk	16,0	0,569	Memenuhi	0,055	0,134	0,214
265	10	Wn-Br-Rp-Ks	17,4	0,259	Tidak Memenuhi	0,039	0,124	0,185
266	11	Wn-Br-Jw-Bk	19,2	0,401	Memenuhi	0,052	0,038	0,168
267	12	Wn-Tg-Pr-Bk	23,4	0,001	Tidak Memenuhi	0,066	0,093	0,215
268	13	Rp-Wl-Pr-Bk	12,7	0,733	Memenuhi	0,083	0,087	0,194
269	14	Wn-Br-Rp-Wl	13,6	0,538	Memenuhi	0,054	0,188	0,215
270	15	Wn-Br-Ks-Bk	17,7	0,491	Memenuhi	0,048	0,225	0,188
271	16	Wn-Jw-Pr-Bk	24,8	0,215	Tidak Memenuhi	0,124	0,143	0,190
272	17	Tg-Wl-Pr-Bk	11,9	<b>0,769</b>	<b>Baik</b>	0,112	0,139	0,259
273	18	Wn-Br-Rp-Pr	26,2	0,067	Tidak Memenuhi	0,041	0,083	0,203
274	19	Wn-Br-Wl-Bk	12,4	0,718	Memenuhi	0,045	0,651	0,196
275	20	Wn-Ks-Pr-Bk	16,9	0,651	Memenuhi	0,042	0,308	0,234
276	21	Jw-Wl-Pr-Bk	24,1	0,086	Tidak Memenuhi	0,057	0,100	0,201
277	22	Wn-Br-Tg-Jw	21,5	0,294	Tidak Memenuhi	0,124	0,130	0,224
278	23	Wn-Rp-Tg-Bk	16,4	0,637	Memenuhi	<b>0,021</b>	0,112	0,184
279	24	Br-Rp-Pr-Bk	16,0	0,360	Memenuhi	0,045	0,151	0,194
280	25	Wn-Br-Tg-Ks	17,0	0,664	Memenuhi	0,054	0,794	0,241
281	26	Wn-Rp-Jw-Bk	31,5	-0,222	Tidak Memenuhi	0,057	0,175	0,206
282	27	Br-Tg-Pr-Bk	15,4	0,556	Memenuhi	0,052	0,427	0,217
283	28	Wn-Br-Jw-Ks	22,9	0,197	Tidak Memenuhi	0,071	0,108	0,221
284	29	Wn-Tg-Jw-Bk	15,7	0,707	Memenuhi	0,118	0,142	0,202
285	30	Rp-Tg-Pr-Bk	23,9	-0,267	Tidak Memenuhi	0,065	0,122	0,255
286	31	Wn-Br-Tg-Wl	20,0	0,175	Tidak Memenuhi	0,067	0,125	0,356
287	32	Wn-Rp-Ks-Bk	26,6	0,037	Tidak Memenuhi	0,053	0,089	0,284
288	33	Br-Jw-Pr-Bk	24,9	0,073	Tidak Memenuhi	0,054	0,384	0,230
289	34	Wn-Br-Jw-Wl	18,9	0,214	Tidak Memenuhi	0,099	0,092	0,286
290	35	Wn-Tg-Ks-Bk	25,7	0,037	Tidak Memenuhi	0,054	<b>0,036</b>	0,469

Lanjutan Tabel 4.41 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 4 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
291	36	Rp-Jw-Pr-Bk	22,1	0,272	Tidak Memenuhi	0,068	0,124	0,201
292	37	Wn-Br-Ks-Wl	12,6	0,649	Memenuhi	0,039	0,180	0,216
293	38	Wn-Jw-Ks-Bk	15,6	0,466	Memenuhi	0,061	0,167	0,218
294	39	Tg-Jw-Pr-Bk	23,9	0,348	Tidak Memenuhi	0,030	0,199	0,210
295	40	Wn-Br-Tg-Pr	20,6	-0,284	Tidak Memenuhi	0,041	0,201	0,237
296	41	Wn-Rp-Wl-Bk	17,9	0,534	Memenuhi	0,037	0,140	0,230
297	42	Br-Ks-Pr-Bk	13,4	0,588	Memenuhi	0,061	0,135	0,211
298	43	Wn-Br-Jw-Pr	19,8	0,399	Memenuhi	0,044	0,115	0,201
299	44	Wn-Tg-Wl-Bk	17,5	0,540	Memenuhi	0,050	0,336	0,215
300	45	Rp-Ks-Pr-Bk	19,5	0,081	Tidak Memenuhi	0,046	0,169	0,184
301	46	Wn-Br-Ks-Pr	26,3	0,186	Tidak Memenuhi	0,061	0,123	0,218
302	47	Wn-Jw-Wl-Bk	14,1	0,603	Memenuhi	0,045	0,407	0,194
303	48	Tg-Ks-Pr-Bk	18,4	0,445	Memenuhi	0,046	0,099	0,278
304	49	Wn-Br-Wl-Pr	14,4	0,560	Memenuhi	0,060	0,195	0,204
305	50	Wn-Ks-Wl-Bk	14,2	0,617	Memenuhi	0,035	0,172	0,174
306	51	Jw-Ks-Pr-Bk	23,8	-0,001	Tidak Memenuhi	0,040	0,119	0,226
307	52	Wn-Rp-Tg-Jw	16,2	0,355	Tidak Memenuhi	0,030	0,105	0,281
308	53	Br-Rp-Tg-Bk	12,0	0,651	Memenuhi	0,031	0,194	0,229
309	54	Wn-Rp-Tg-Ks	16,9	0,540	Memenuhi	0,043	0,414	0,190
310	55	Br-Rp-Jw-Bk	18,3	0,385	Memenuhi	0,032	0,199	0,210
311	56	Wn-Rp-Jw-Ks	22,2	0,347	Tidak Memenuhi	0,034	0,793	<b>0,165</b>
312	57	Br-Tg-Jw-Bk	23,6	0,271	Tidak Memenuhi	0,058	0,080	0,197
313	58	Wn-Tg-Jw-Ks	25,4	-0,215	Tidak Memenuhi	0,071	0,116	0,287
314	59	RP-Tg-Jw-Bk	21,8	0,370	Memenuhi	0,067	0,084	0,196
315	60	Wn-Rp-Tg-Wl	33,7	-0,902	Tidak Memenuhi	0,060	0,147	0,240
316	61	Br-Rp-Ks-Bk	19,8	0,352	Tidak Memenuhi	0,039	0,346	0,239
317	62	Wn-Rp-Jw-Wl	19,8	0,316	Tidak Memenuhi	0,041	0,173	0,179
318	63	Br-Tg-Ks-Bk	12,3	0,649	Memenuhi	0,056	0,086	0,207
319	64	Wn-Tg-Jw-Wl	16,1	0,516	Memenuhi	0,099	0,093	0,180
320	65	Rp-Tg-Ks-Bk	23,4	-0,554	Tidak Memenuhi	0,047	0,090	0,275
321	66	Wn-Rp-Ks-Wl	20,7	0,413	Memenuhi	0,038	0,179	0,381
322	67	Br-Jw-Ks-Bk	27,9	0,181	Tidak Memenuhi	0,040	0,092	0,187
323	68	Wn-Tg-Ks-Wl	30,0	-0,447	Tidak Memenuhi	0,044	0,072	0,284
324	69	Rp-Jw-Ks-Bk	14,2	0,654	Memenuhi	0,054	0,128	0,206
325	70	Wn-Jw-Ks-Wl	22,5	-0,074	Tidak Memenuhi	0,110	0,102	0,228
326	71	Tp-Jw-Ks-Bk	20,9	0,454	Memenuhi	0,038	0,352	0,209
327	72	Wn-Rp-Tg-Pr	30,9	-0,376	Tidak Memenuhi	0,091	0,094	0,247
328	73	Br-Rp-Wl-Bk	16,8	0,487	Memenuhi	0,034	0,140	0,220
329	74	Wn-Rp-Jw-Pr	27,8	0,126	Tidak Memenuhi	0,041	0,104	0,274
330	75	Br-Tg-Wl-Bk	14,2	0,582	Memenuhi	0,036	0,114	0,243
331	76	Wn-Tg-Jw-Pr	15,8	0,606	Memenuhi	0,027	0,155	0,348
332	77	Rp-Tg-Wl-Bk	29,0	-1,780	Tidak Memenuhi	0,084	0,067	0,458

Lanjutan Tabel 4.41 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 4 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
333	78	Wn-Rp-Ks-Pr	24,2	0,086	Tidak Memenuhi	0,061	0,125	0,226
334	79	Br-Jw-Wl-Bk	19,4	0,411	Memenuhi	0,034	0,206	0,189
335	80	Wn-Tg-Ks-Pr	15,0	0,567	Memenuhi	0,043	0,116	0,215
336	81	Rp-Jw-Wl-Bk	20,8	0,406	Memenuhi	0,037	0,373	0,184
337	82	Wn-Jw-Ks-Pr	27,1	0,174	Tidak Memenuhi	0,081	0,103	0,192
338	83	Tg-Jw-Wl-Bk	15,9	0,611	Memenuhi	0,032	0,222	0,203
339	84	Wn-Rp-Wl-Pr	21,4	0,375	Memenuhi	0,069	0,522	0,232
340	85	Br-Ks-Wl-Bk	33,7	-0,806	Tidak Memenuhi	0,035	0,127	0,231
341	86	Wn-Tg-Wl-Pr	23,5	0,140	Tidak Memenuhi	0,021	0,156	0,235
342	87	Rp-Ks-Wl-Bk	14,7	0,627	Memenuhi	0,038	0,148	0,231
343	88	Wn-Jw-Wl-Pr	26,5	-0,127	Tidak Memenuhi	0,055	0,159	0,228
344	89	Tg-Ks-Wl-Bk	28,5	-0,905	Tidak Memenuhi	0,117	0,151	0,251
345	90	Wn-Ks-Wl-Pr	21,3	0,434	Memenuhi	0,023	0,192	0,202
346	91	Jw-Ks-Wl-Bk	18,7	0,435	Memenuhi	0,040	0,166	0,204
347	92	Br-Rp-Tg-Jw	26,2	0,032	Tidak Memenuhi	0,041	0,216	0,312
348	93	Br-Rp-Tg-Ks	18,4	0,161	Tidak Memenuhi	0,084	0,100	0,232
349	94	Br-Rp-Jw-Ks	28,9	-0,168	Tidak Memenuhi	0,117	0,138	0,179
350	95	Br-Tg-Jw-Ks	20,4	0,387	Memenuhi	0,039	0,159	0,237
351	96	Rp-Tg-Jw-Ks	22,5	0,180	Tidak Memenuhi	0,050	0,116	0,286
352	97	Br-Rp-Tg-Wl	31,1	-0,254	Tidak Memenuhi	0,049	0,106	0,215
353	98	Br-Rp-Jw-Wl	26,8	-0,234	Tidak Memenuhi	0,040	0,179	0,194
354	99	Br-Tg-Jw-Wl	19,3	0,448	Memenuhi	0,043	0,125	0,250
355	100	Rp-Tg-Jw-Wl	19,3	0,280	Tidak Memenuhi	0,050	0,095	0,249
356	101	Br-Rp-Ks-Wl	14,0	0,345	Tidak Memenuhi	0,081	0,114	0,205
357	102	Br-Tg-Ks-Wl	23,3	0,277	Tidak Memenuhi	0,026	0,070	0,262
358	103	Rp-Tg-Ks-Wl	29,5	-0,469	Tidak Memenuhi	0,054	0,072	0,182
359	104	Br-Jw-Ks-Wl	24,0	0,125	Tidak Memenuhi	0,032	0,250	0,190
360	105	Rp-Jw-Ks-Wl	18,3	0,500	Memenuhi	0,031	0,431	0,200
361	106	Tg-Jw-Ks-Wl	19,1	0,196	Tidak Memenuhi	0,123	0,199	0,201
362	107	Br-Rp-Tg-Pr	14,6	0,313	Tidak Memenuhi	0,030	0,233	0,206
363	108	Br-Rp-Jw-Pr	22,3	0,289	Tidak Memenuhi	0,049	0,137	0,224
364	109	Br-Tg-Jw-Pr	19,2	0,286	Tidak Memenuhi	0,060	0,198	0,219
365	110	Rp-Tg-Jw-Pr	19,3	0,405	Memenuhi	0,044	0,214	0,189
366	111	Br-Rp-Ks-Pr	20,6	0,244	Tidak Memenuhi	0,037	0,745	0,213
367	112	Br-Tg-Ks-Pr	21,4	0,384	Memenuhi	0,042	0,191	0,208
368	113	Rp-Tg-Ks-Pr	21,5	0,350	Tidak Memenuhi	0,058	0,088	0,189
369	114	Br-Jw-Ks-Pr	27,0	-0,303	Tidak Memenuhi	0,057	0,109	0,232
370	115	Rp-Jw-Ks-Pr	24,5	-0,465	Tidak Memenuhi	0,040	0,065	0,270
371	116	Tg-Jw-Ks-Pr	16,3	0,360	Memenuhi	0,041	0,083	0,296
372	117	Br-Rp-Wl-Pr	22,9	0,062	Tidak Memenuhi	0,066	0,109	0,237
373	118	Br-Tg-Wl-Pr	25,7	0,238	Tidak Memenuhi	0,052	0,241	0,245
374	119	Rp-Tg-Wl-Pr	12,8	0,482	Memenuhi	0,055	0,203	0,213
376	121	Rp-Jw-Wl-Pr	23,0	0,016	Tidak Memenuhi	0,057	0,226	0,255

Lanjutan Tabel 4.41 Rekapitulasi Pengujian pada Kombinasi 4 Stasiun

No.	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
377	122	Tg-Jw-Wl-Pr	20,6	0,397	Memenuhi	0,048	0,266	0,251
378	123	Br-Ks-Wl-Pr	20,0	0,261	Tidak Memenuhi	0,047	0,127	0,288
379	124	Rp-Ks-Wl-Pr	29,8	-0,410	Tidak Memenuhi	0,031	0,117	0,248
380	125	Tg-Ks-Wl-Pr	38,7	-0,967	Tidak Memenuhi	0,042	0,155	0,192
381	126	Jw-Ks-Wl-Pr	18,5	0,534	Memenuhi	0,040	0,158	0,226
<b>260</b>	<b>5</b>	<b>Ks-Wl-Pr-Bk</b>	<b>12,0</b>	<b>0,783</b>	<b>Baik</b>	<b>0,045</b>	<b>0,060</b>	<b>0,196</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Pada pengujian jaringan 4 stasiun, kombinasi terbaik adalah nomor 260 yang terdiri dari Stasiun Kaswi, Wilo, Prigen, dan Bekacak (NSE maksimum, serta MSE Train dan MSE Cross lebih kecil dibandingkan nomor 258, 272 yang sama-sama memiliki kriteria NSE ‘Baik’) dengan KR = 11,9% dan kriteria NSE ‘Baik’.

#### 4.5.5.6. Rekapitulasi Pengujian

Tabel 4.42. Rekapitulasi Kombinasi Terbaik Seluruh Pengujian

No	Jumlah Stasiun	No. Urut	Sub No.	Kode Jaringan	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
1	8	006	6	Wn-Br-Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	15,2	0,476	Memenuhi	0,035	0,069	0,172
2	7	034	25	Wn-Rp-Tg-Jw-Wl-Pr-Bk	13,5	0,748	Memenuhi	0,015	0,599	0,179
<b>3</b>	<b>6</b>	<b>073</b>	<b>28</b>	<b>Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>12,2</b>	<b>0,801</b>	<b>Baik</b>	<b>0,054</b>	<b>0,060</b>	<b>0,196</b>
4	5	197	68	Wn-Rp-Ks-Wl-Bk	11,4	0,759	Baik	0,035	0,126	0,198
5	4	260	5	Ks-Wl-Pr-Bk	12,0	0,783	Baik	0,045	0,115	0,209
<b>Min</b>	<b>6</b>	<b>073</b>	<b>28</b>	<b>Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk</b>	<b>12,2</b>	<b>0,801</b>	<b>Baik</b>	<b>0,054</b>	<b>0,060</b>	<b>0,196</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dari seluruh pengujian yang sudah dilakukan, diambil kombinasi yang terbaik di antara yang terbaik. Kombinasi tersebut adalah nomor 073 yang terdiri dari Winong, Randupitu, Jawi, Wilo, Prigen, dan Bekacak (NSE maksimum, serta MSE Cross dan NMAE lebih kecil dibandingkan nomor 197, 260 yang sama-sama memiliki kriteria NSE ‘Baik’) dengan KR = 12,2% dan kriteria NSE ‘Baik’.

Pada jaringan ini, persamaan pemodelan yang dihasilkan adalah:

$$y_{ink} = W_{0k} + \sum \{(B + \sum (Z_1 X_{Wn} + Z_1 X_{Rp} + Z_1 X_{Jw} + Z_1 X_{Wl} + Z_1 X_{Pr} + Z_1 X_{Bk}) W_{1k} + \dots + (B + (Z_6 X_{Wn} + Z_6 X_{Rp} + Z_6 X_{Jw} + Z_6 X_{Wl} + Z_6 X_{Pr} + Z_6 X_{Bk}) W_{6k})\}$$

dengan :  $y_{ink}$  = nilai output

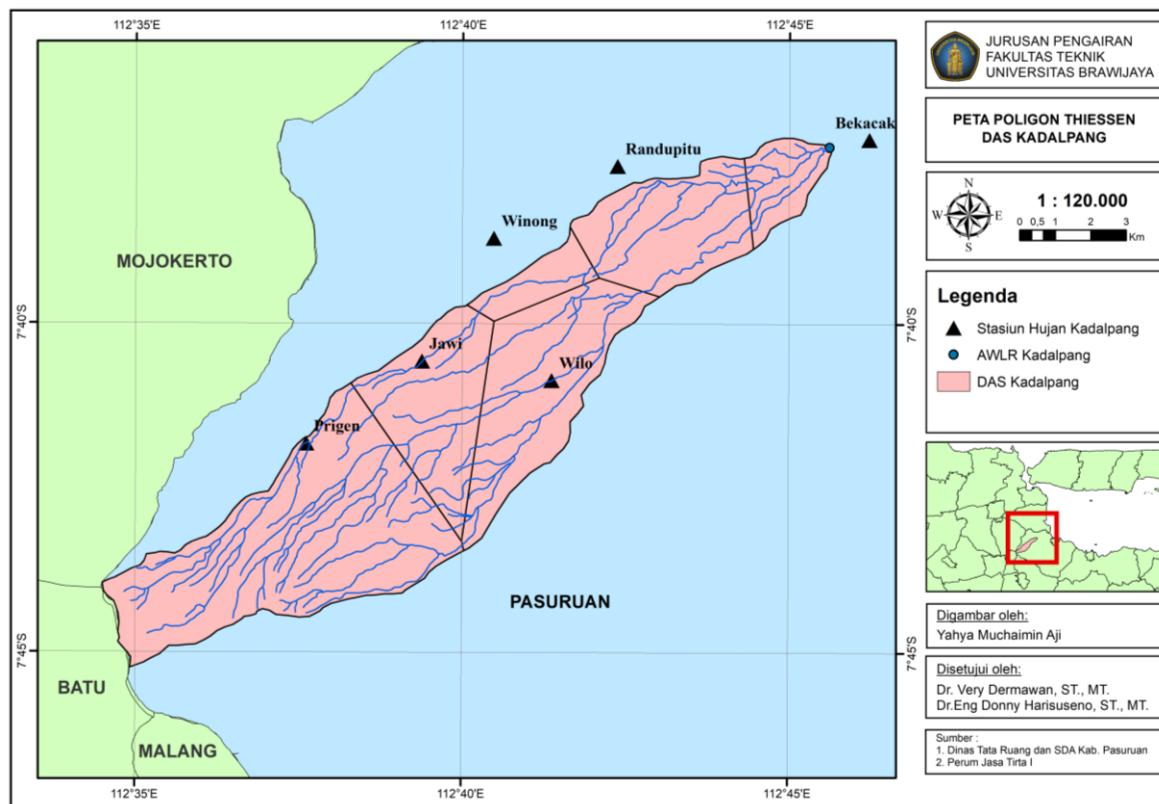
$W$  = bobot dari *hidden layer* ke *output*

$X$  = *neuron* pada *input layer*

$Z$  = *hidden layer*

$B$  = bias/unit masukan

Pada jaringan ini pula kerapatan jaringan menjadi lebih renggang karena terdapat pengurangan stasiun sebanyak 3 buah. Perbandingan luas pengaruh masing-masing stasiun pada jaringan lama dan pada stasiun terpilih ditampilkan pada Gambar 4.31 dan Tabel 4.43.



Gambar 4.31. Peta Poligon Thiessen stasiun hujan terpilih

Sumber: Hasil penggambaran, 2017

Tabel 4.43. Kerapatan Jaringan Stasiun Terpilih

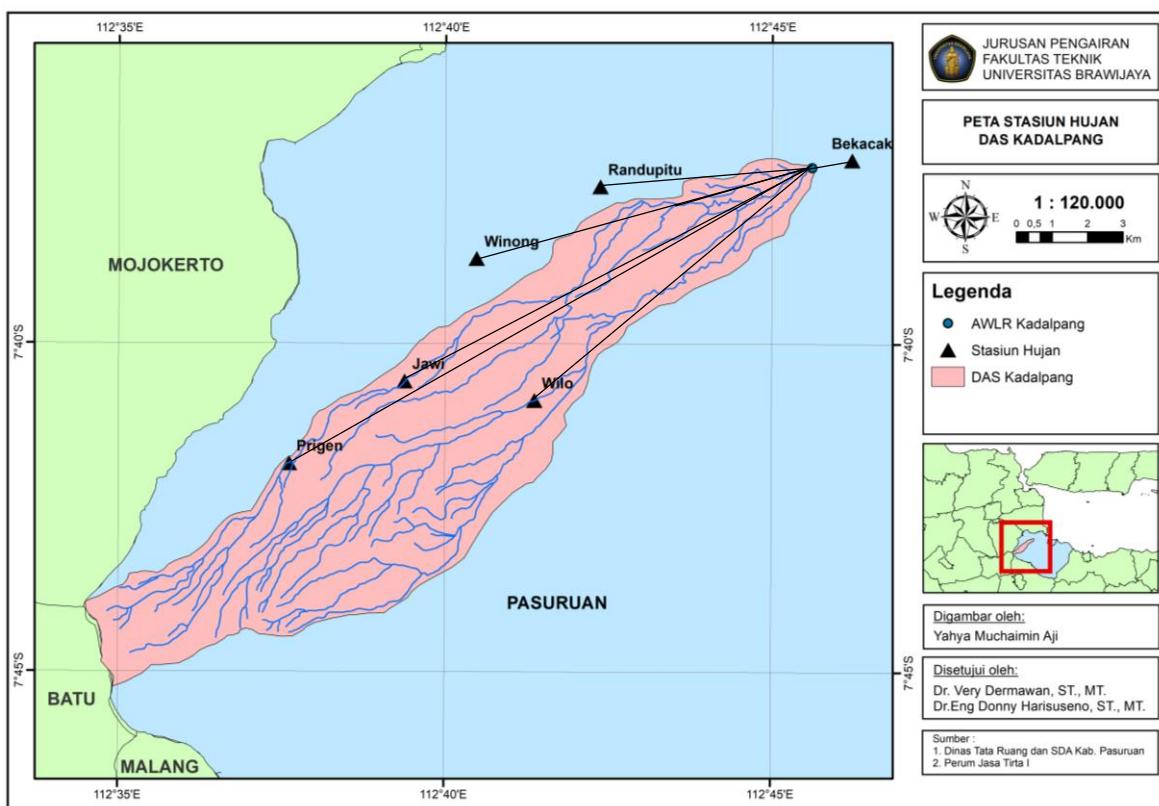
<b>Nama Stasiun</b>	<b>Luas Pengaruh (Km<sup>2</sup>)</b>	
	<b>Lama</b>	<b>Baru</b>
Winong	0,42	3,6
Bareng	0,40	-
Randupitu	2,11	13,2
Tanggul	11,28	-
Jawi	13,06	13,1
Kasri	8,44	-
Wilo	14,13	17,4
Prigen	34,63	34,6
Bekacak	1,90	4,5
<b>Total</b>	<b>86,4</b>	<b>86,4</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Selanjutnya, jaringan ini akan dianalisis hubungannya terhadap aspek topografi.

#### 4.6. Hubungan Jaringan Stasiun Hujan Terpilih terhadap Aspek Topografi

Analisis akhir dalam studi ini ialah mencoba menemukan keterkaitan antara jaringan stasiun hujan yang terpilih terhadap aspek topografi. Keterkaitan yang dimaksudkan adalah hubungan antara parameter topografi terhadap hujan yang turun, serta hubungan di antara parameter-parameter topografi tersebut. Variabel yang diamati adalah curah hujan rerata tahunan, elevasi stasiun, beda tinggi, jarak, serta *slope* antara stasiun terhadap AWLR.



Gambar 4.32. Peta skema jarak stasiun ke AWLR

Sumber: Hasil penggambaran, 2017

Tabel 4.44. Rerata Hujan Tahunan Stasiun Hujan Terpilih

Tahun	Winong	Randupitu	Jawi	Wilo	Prigen	Bekacak
2007	936	1.563	1.682	1.836	2.387	1.541
2008	1.996	1.934	2.033	2.294	3.111	1.654
2009	1.732	1.646	1.987	3.844	3.387	1.393
2010	3.642	3.582	3.622	4.274	5.113	3.537
2011	3.153	2.312	2.965	4.247	3.626	1.938
2012	2.164	1.903	2.262	2.431	2.516	2.026
2013	2.821	2.681	2.974	3.761	4.557	3.126
2014	2.096	1.683	1.799	1.780	2.300	1.576
2015	1.883	1.540	1.772	2.174	2.367	1.544
2016	2.870	2.218	2.774	2.550	3.031	1.778
<b>Rerata</b>	<b>2.329</b>	<b>2.106</b>	<b>2.387</b>	<b>2.919</b>	<b>3.240</b>	<b>2.011</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

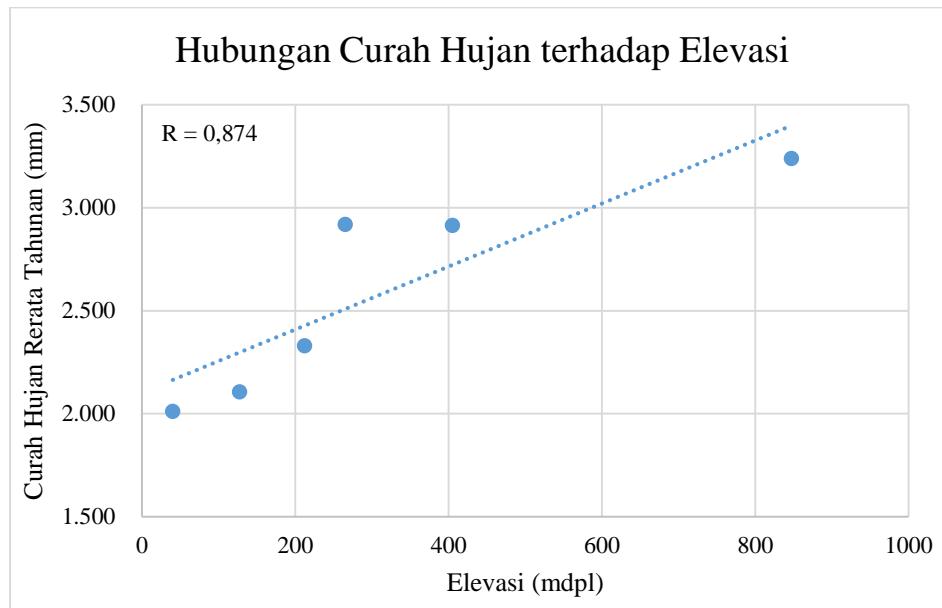
Tabel 4.45. Parameter Topografi Stasiun Hujan Terpilih

No.	Stasiun	Rerata Hujan Tahunan (mm)	Elevasi (mdpl)	Jarak (Km)	Beda Tinggi (m)	Slope
1	Winong	2.329	212	9,86	150	0,0152
2	Randupitu	2.106	127	6,04	65	0,0108
3	Jawi	2.387	405	13,05	343	0,0263
4	Wilo	2.919	265	10,26	203	0,0198
5	Prigen	3.240	847	17,04	785	0,0461
6	Bekacak	2.011	40	1,16	22	0,0190

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### 4.6.1. Hubungan Aspek Topografi terhadap Curah Hujan

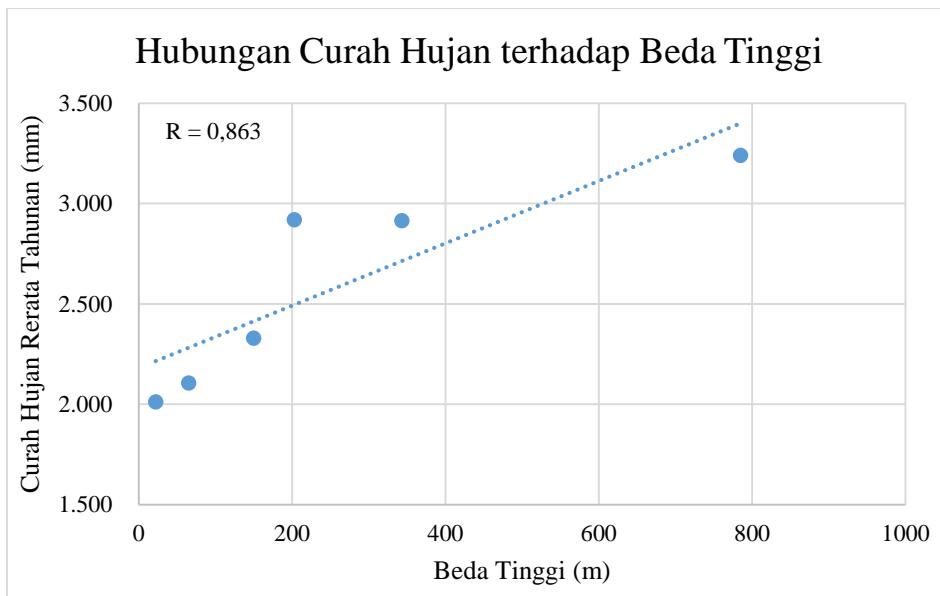
Curah hujan rerata tahunan dibuat model regresi liniernya (sebagai variabel terikat) terhadap elevasi stasiun, beda tinggi, jarak, serta *slope* antara stasiun terhadap AWLR.



Gambar 4.33. Grafik hubungan curah hujan terhadap elevasi

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

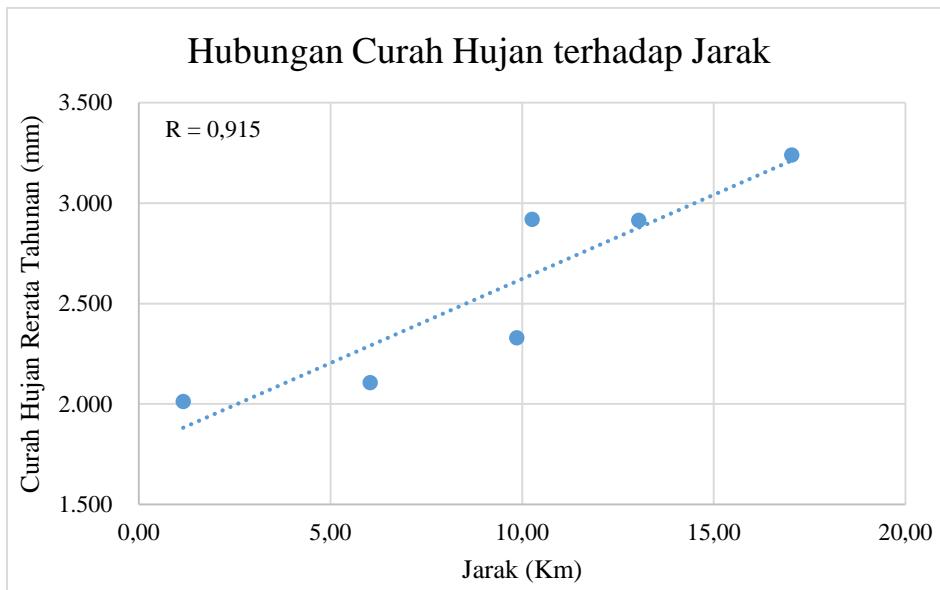
Hubungan antara elevasi terhadap curah hujan dapat dikatakan kuat. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi yang baik ( $R = 0,874 > 0,6$ ). Semakin tinggi elevasi stasiun hujan, hujan yang turun juga cenderung bertambah besar.



Gambar 4.34. Grafik hubungan curah hujan terhadap beda tinggi

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

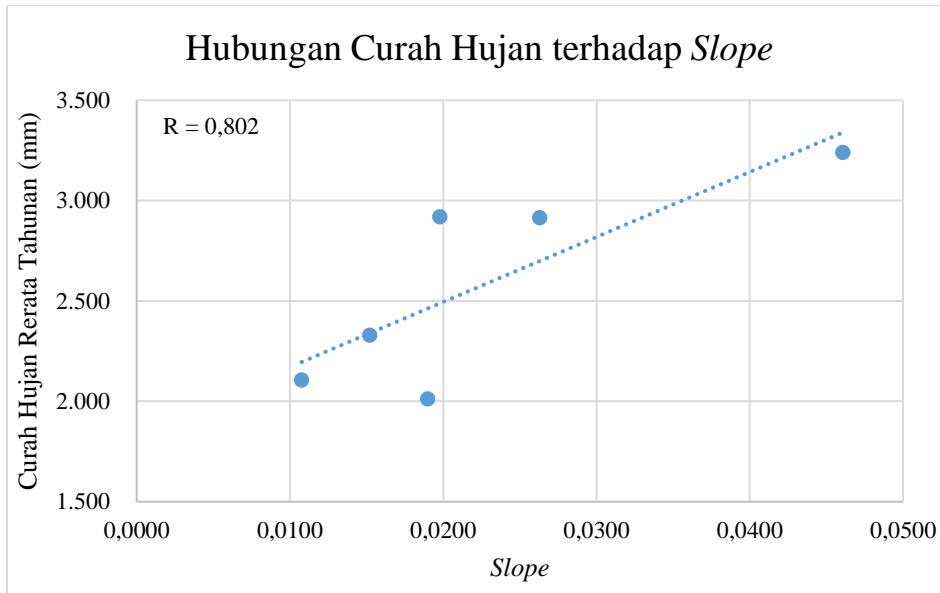
Hubungan antara beda tinggi terhadap curah hujan dapat dikatakan kuat. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi yang baik ( $R = 0,863 > 0,6$ ). Semakin tinggi beda elevasi stasiun hujan terhadap AWLR, hujan yang turun juga cenderung bertambah besar.



Gambar 4.35. Grafik hubungan curah hujan terhadap jarak

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

Hubungan antara jarak terhadap curah hujan dapat dikatakan sangat kuat. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi yang sangat baik ( $R = 0,915 > 0,6$ ). Semakin jauh stasiun hujan terhadap AWLR, hujan yang turun juga cenderung bertambah besar.



Gambar 4.36. Grafik hubungan curah hujan terhadap *slope*

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

Hubungan antara *slope* terhadap curah hujan dapat dikatakan kuat. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi yang baik ( $R = 0,802 > 0,6$ ). Semakin tinggi *slope* stasiun hujan terhadap AWLR, hujan yang turun juga cenderung bertambah besar.

Tabel 4.46. Rekapitulasi koefisien korelasi antara Curah Hujan terhadap Aspek Topografi

No.	Aspek Topografi	R
1	Elevasi	0,874
<b>2</b>	<b>Beda Tinggi</b>	<b>0,915</b>
3	Jarak	0,863
4	<i>Slope</i>	0,802

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan grafik-grafik dan tabel di atas, parameter dengan hubungan terkuat adalah beda tinggi, kemudian elevasi. Terbukti bahwa semakin tinggi letak stasiun hujan, maka hujan yang terjadi semakin besar karena terdapat pengaruh klimatologi. Kedua parameter ini hampir sama, namun secara matematis terdapat pengaruh dari elevasi AWLR, sehingga dapat dimaklumi jika ada sedikit perbedaan.

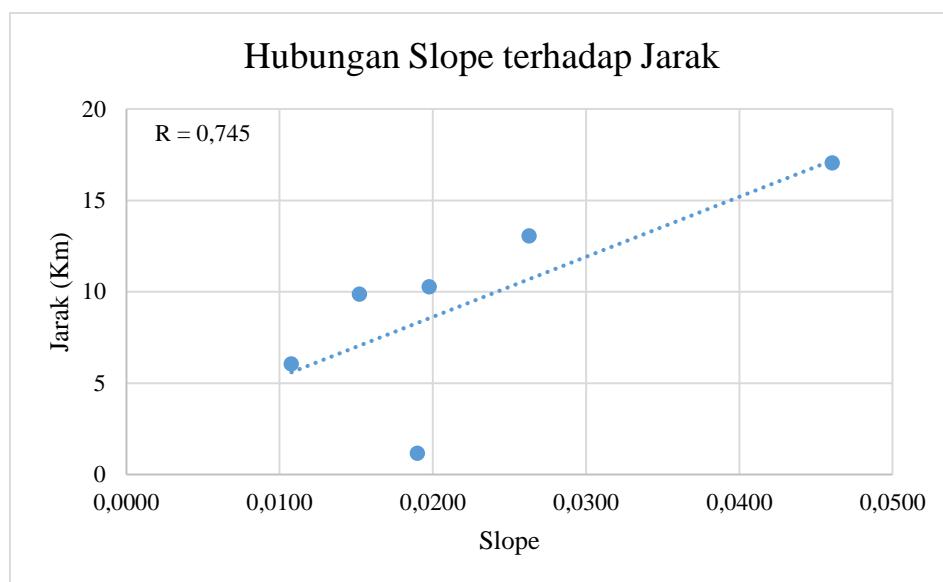
Kemudian, jarak memiliki hubungan yang cukup baik terhadap curah hujan. Penambahan jarak tidak selalu diikuti dengan penambahan curah hujan yang linier, namun terdapat kecenderungan yang nampak pada kedua variabel ini. Semakin jauh stasiun hujan dari AWLR, maka elevasinya cenderung semakin tinggi. Sedangkan *slope* memiliki koefisien korelasi paling kecil, namun masih dalam taraf baik. Meskipun kemiringan tiap stasiun terhadap AWLR tidak seragam (kemiringan permukaan tanah dari hilir ke hulu

bervariasi), terdapat kecenderungan bahwa stasiun yang lebih tinggi letaknya memiliki kemiringan yang lebih curam, sehingga hujan yang turun juga cenderung lebih tinggi.

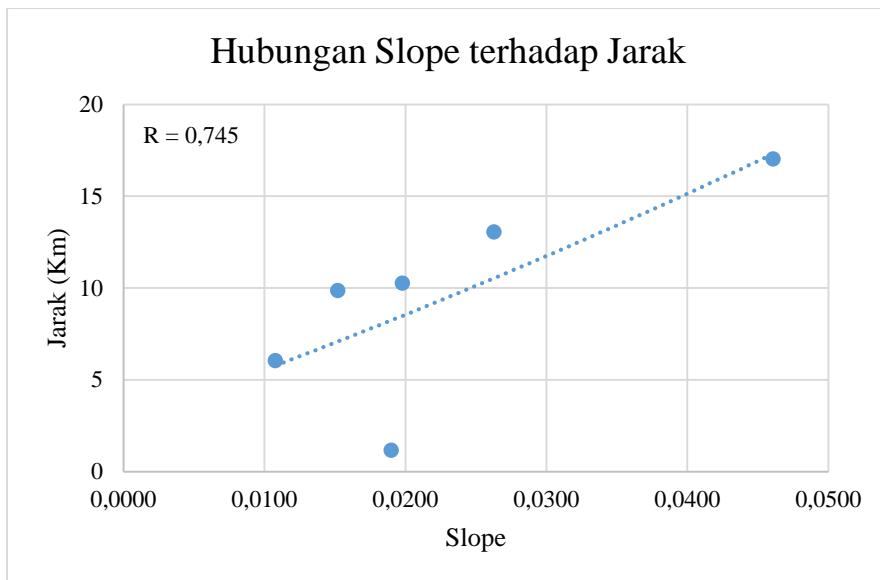
#### 4.6.2. Hubungan antar Aspek Topografi

Terdapat 2 opsi yang dapat dikembangkan menjadi model regresi untuk mengetahui keterkaitan antar variabel topografi yang ada, yaitu *slope* dan beda tinggi sebagai variabel bebas, kemudian jarak sebagai variabel terikat.

Gambar 4.37 – 4.41 menyajikan pemodelan 5 jenis regresi untuk variabel *slope* terhadap jarak. Sedangkan gambar 4.42 – 4.46 menyajikan pemodelan 5 jenis regresi untuk variabel beda tinggi terhadap jarak.

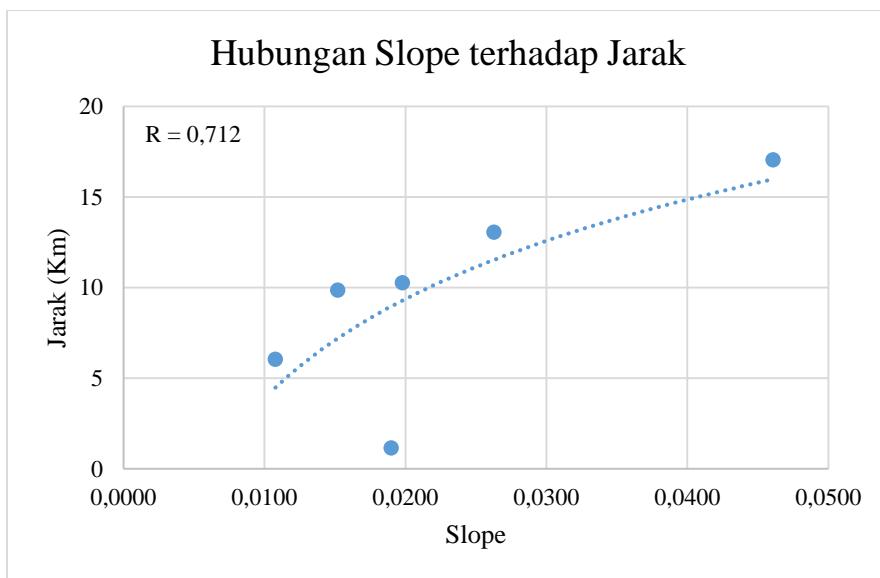


*Gambar 4.37. Grafik hubungan *slope* terhadap jarak (regresi linier)*  
Sumber: Hasil perhitungan, 2017



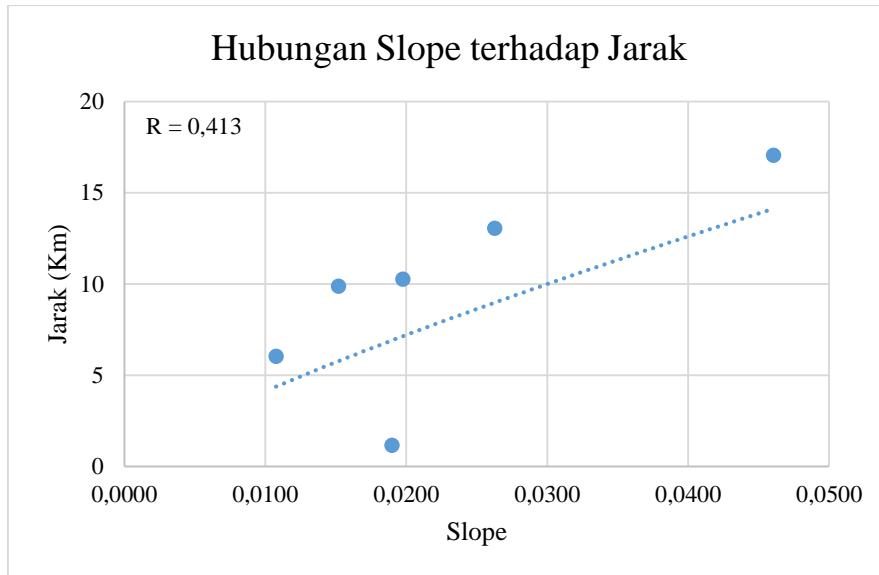
Gambar 4.38. Grafik hubungan *slope* terhadap jarak (regresi polinomial)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017



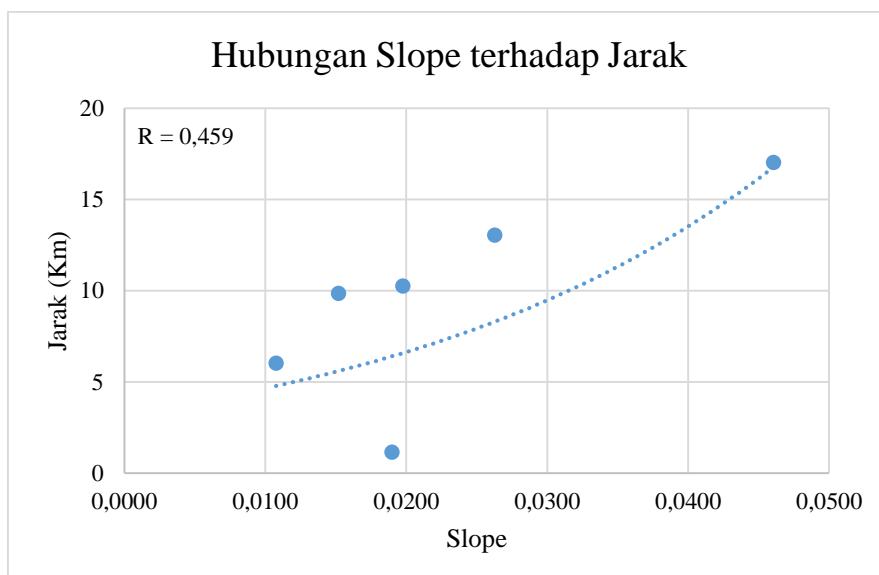
Gambar 4.39. Grafik hubungan *slope* terhadap jarak (regresi logaritmik)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017



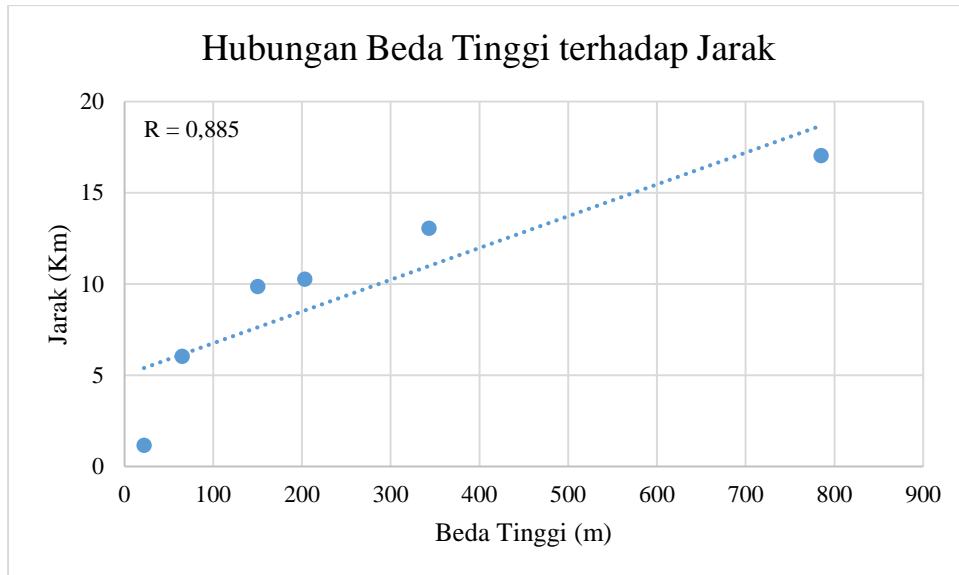
Gambar 4.40. Grafik hubungan *slope* terhadap jarak (regresi berpangkat)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017



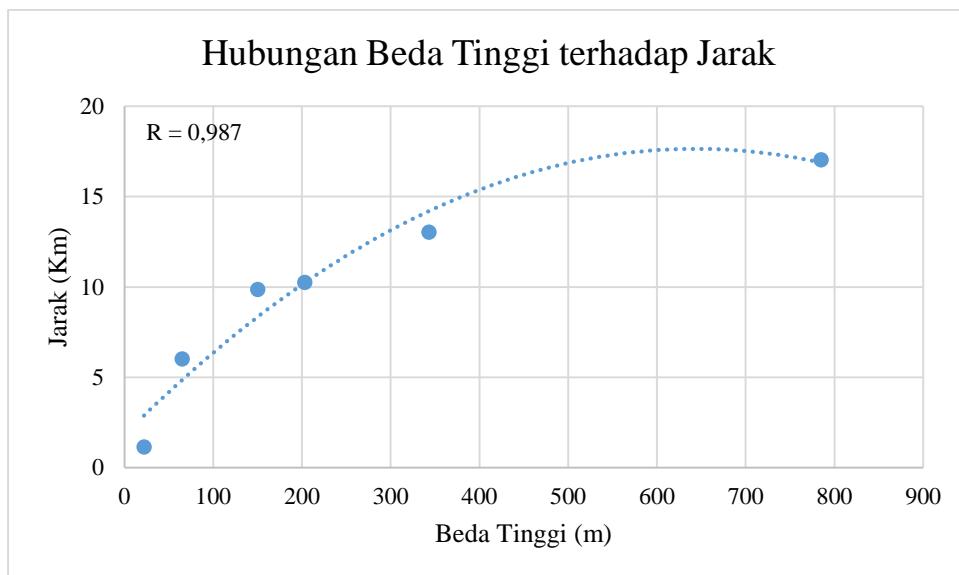
Gambar 4.41. Grafik hubungan *slope* terhadap jarak (regresi eksponensial)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017



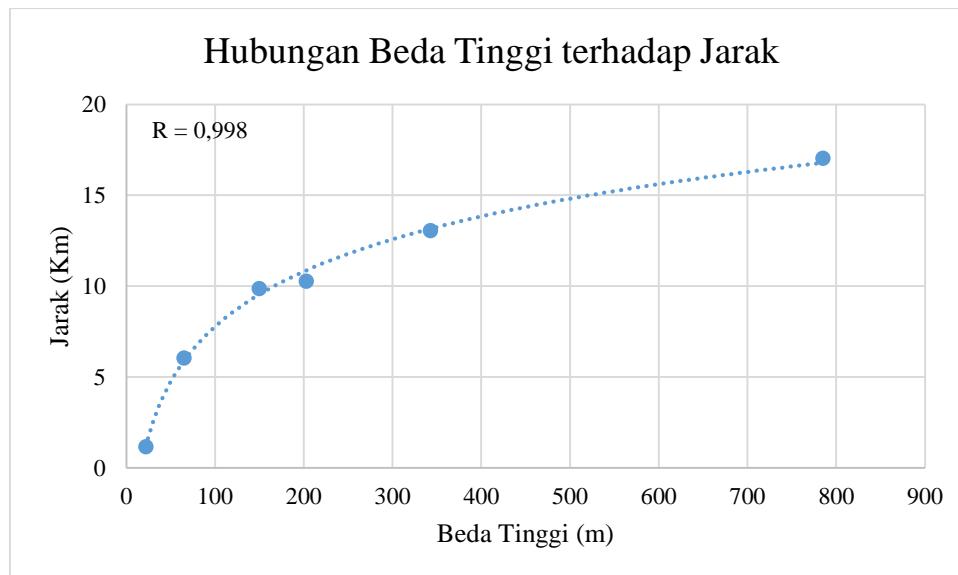
Gambar 4.42. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi linier)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

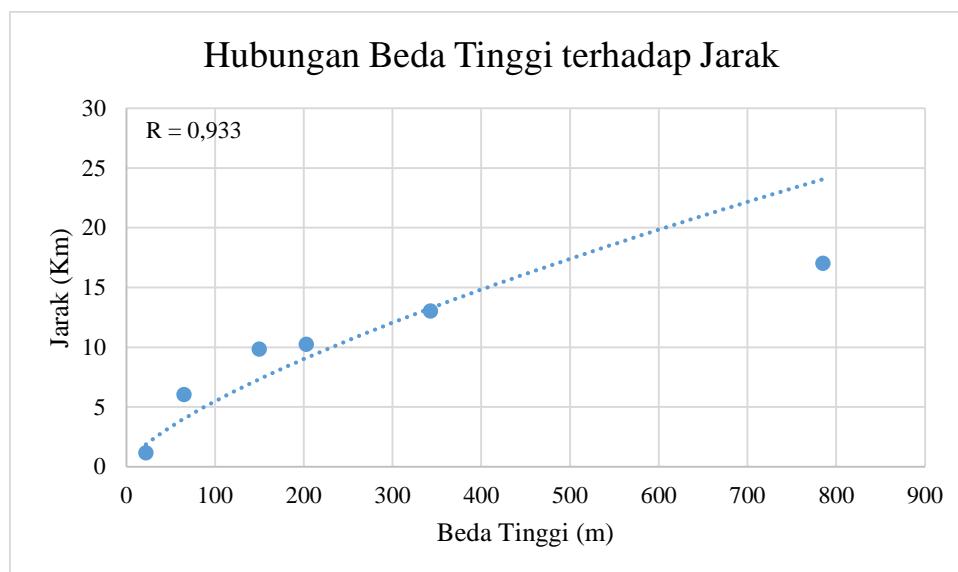


Gambar 4.43. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi polinomial)

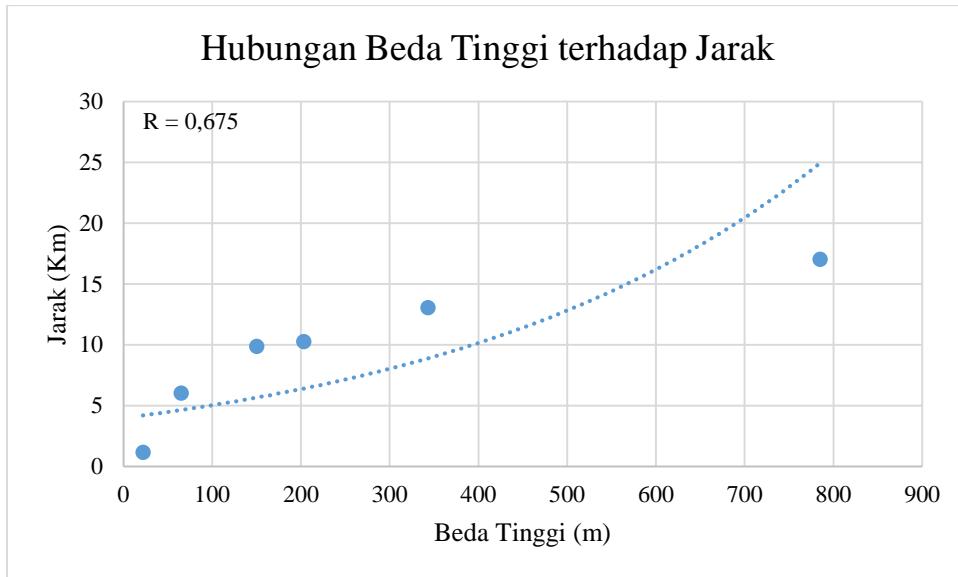
Sumber: Hasil perhitungan, 2017



*Gambar 4.44.* Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi logaritmis)  
Sumber: Hasil perhitungan, 2017



*Gambar 4.45.* Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi berpangkat)  
Sumber: Hasil perhitungan, 2017



Gambar 4.46. Grafik hubungan beda tinggi terhadap jarak (regresi eksponensial)

Sumber: Hasil perhitungan, 2017

Hasil rekapitulasi koefisien korelasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.47. Rekapitulasi koefisien korelasi antara *Slope* terhadap Jarak

No.	Model Regresi	R
1	Linier	0,745
<b>2</b>	<b>Polinomial</b>	<b>0,745</b>
3	Logaritmis	0,712
4	Berpangkat	0,413
5	Eksponensial	0,459

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.48. Rekapitulasi koefisien korelasi antara Beda Tinggi terhadap Jarak

No.	Model Regresi	R
1	Linier	0,885
2	Polinomial	0,973
<b>3</b>	<b>Logaritmis</b>	<b>0,998</b>
4	Berpangkat	0,933
5	Eksponensial	0,675

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4.46 dan 4.47, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara beda tinggi terhadap jarak selalu memiliki koefisien korelasi (R) yang lebih besar dibandingkan *slope* terhadap jarak. Selanjutnya, jenis regresi terbaik pada hubungan antara beda tinggi terhadap jarak adalah logaritmis dengan koefisien korelasi (R) = 0,998. Artinya, hubungan timbal balik antara jarak stasiun hujan yang ada dengan beda tinggi sangat baik, bahkan nilai R  $\approx$  1,00.

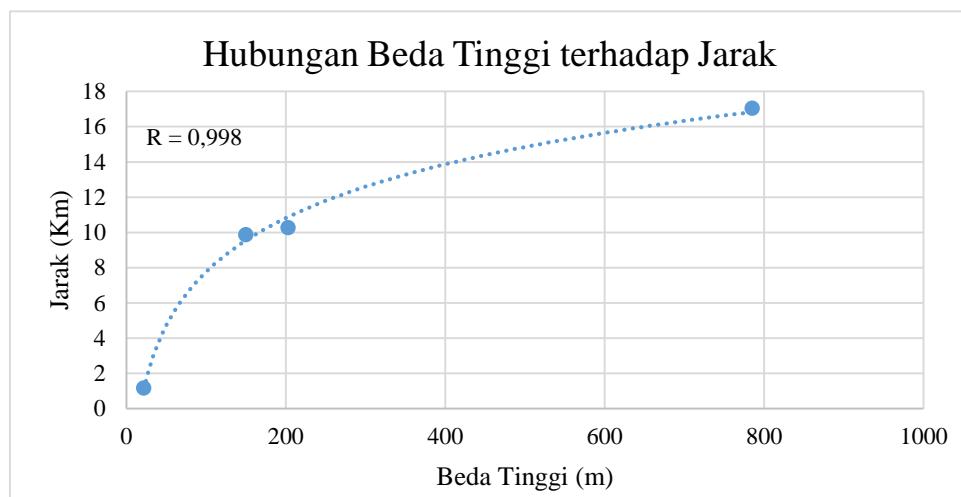
#### 4.6.3. Verifikasi Ketelitian Jaringan Stasiun Terpilih

Selanjutnya, langkah verifikasi yang dapat dilakukan untuk memeriksa kebenaran hubungan antara aspek topografi adalah dengan melakukan perlakuan yang sama (pemodelan regresi logaritmis untuk hubungan beda tinggi terhadap jarak) dengan menyubstitusikan stasiun lain (tidak terpilih) menggantikan stasiun hujan yang ada pada elevasi yang hampir sama.

Terdapat 3 jaringan yang dapat diuji coba (dari masing-masing terbaik), yaitu:

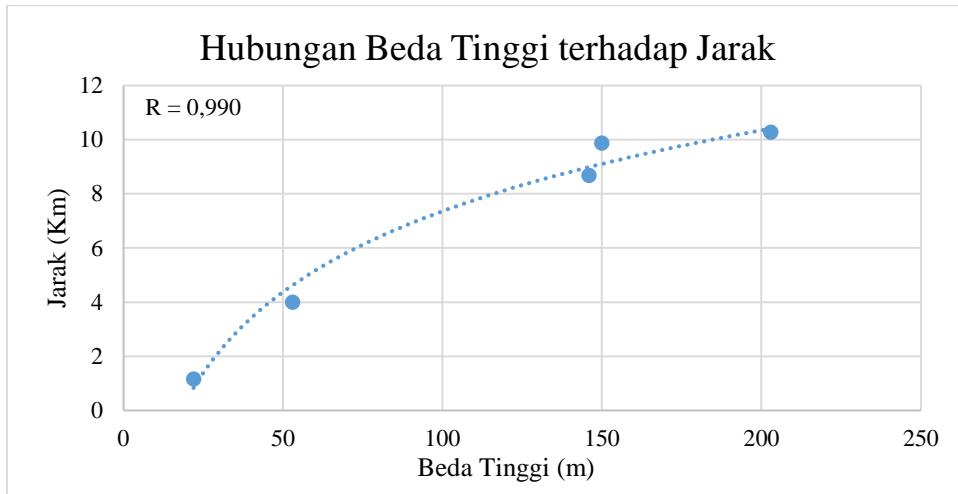
- a. Wn-Wl-Pr-Bk untuk Ks-Wl-Pr-Bk (Kasri diganti Winong)
- b. Wn-Tg-Ks-Wl-Bk untuk Wn-Rp-Ks-Wl-Bk (Randupitu diganti Tangkul)
- c. Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk untuk Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk (Winong diganti Kasri)

Kesalahan relatif yang dihasilkan oleh jaringan tersebut sewajarnya tidak berbeda terlalu jauh dengan kesalahan relatif jaringan terbaik saat ini, serta memiliki NSE yang hampir sama. Regresi logaritmis yang dibentuk disajikan pada Gambar 4.47 – 4.49. Grafik tersebut merujuk pada data Tabel 4.45 dengan menggunakan stasiun tertentu.

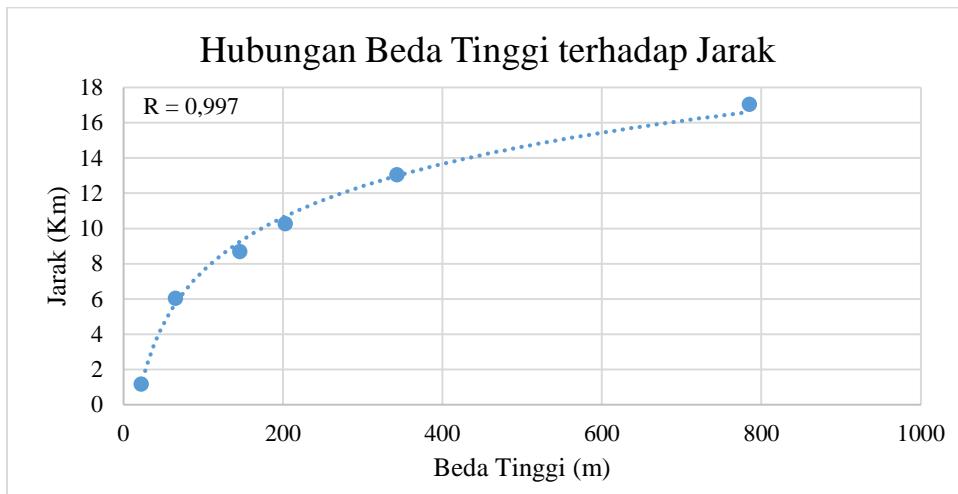


Gambar 4.47. Grafik regresi Winong – Wilo – Prigen – Bekacak

Sumber: Hasil perhitungan, 2017



Gambar 4.48. Grafik regresi Winong – Tanggul – Kasri – Wilo - Bekacak  
Sumber: Hasil perhitungan, 2017



Gambar 4.49. Grafik regresi Randupitu – Jawi – Kasri – Wilo – Prigen – Bekacak  
Sumber: Hasil perhitungan, 2017

Rekapitulasi pemodelan regresi logaritmis tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.49. Rekapitulasi Persamaan Regresi Kombinasi Lain

No.	Kombinasi	R	KR (%)	NSE	Ket.	MSE Train	MSE Cross	NMAE
1	Wn-WI-Pr-Bk	0,998	12,2	0,667	Memenuhi	0,055	0,134	0,214
2	Wn-Tg-Ks-Wl-Bk	0,990	12,7	0,735	Memenuhi	0,117	0,128	0,206
3	Rp-Jw-Ks-Wl-Pr-Bk	0,997	16,4	0,453	Memenuhi	0,016	0,130	0,220

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4.49, dapat disimpulkan bahwa model regresi logaritmis sudah baik pada hubungan Beda Tinggi terhadap Jarak stasiun hujan ke AWLR di Sub DAS Kadapang. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi yang sangat baik ( $R > 0,60$ ; KR, MSE, MAE yang dirasa cukup, serta NSE yang sudah ‘Memenuhi’).

## **BAB V** **PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada studi ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi persebaran stasiun hujan di Sub DAS Kadapang sekarang tergolong relatif padat, dimana saat ini terdapat 9 stasiun hujan pada wilayah DAS seluas 86,4 Km<sup>2</sup>. Menurut standar WMO, DAS Kadapang cukup diwakili oleh 1 stasiun saja, sedangkan metode Bleasdale menyarankan 4 stasiun hujan sebagai angka optimum. Metode Varshney menetapkan jumlah 8 stasiun hujan sebagai angka ideal, kemudian metode Sugawara menyarankan 10 atau 15 buah stasiun.
2. Jaringan saraf tiruan menawarkan alternatif pemilihan jaringan stasiun hujan yang baru dengan mencoba-coba setiap kombinasi jaringan stasiun hujan yang bisa dibentuk, kemudian memodelkan debit sungainya agar dapat dibandingkan dengan data pengukuran. Dengan mempertimbangkan metode analisis kerapatan jaringan yang sudah ada, maka kombinasi stasiun hujan yang baru dibatasi mulai dari kombinasi dari 4 hingga 8 stasiun saja, dengan total kombinasi sebanyak 381 buah.
3. Hasil analisis dari 381 buah kombinasi menghasilkan pemodelan dengan Kesalahan Relatif terkecil sebesar 12,2% dan NSE ‘Baik’ pada nomor 073 Wn-Rp-Jw-Wl-Pr-Bk. Jaringan tersebut terdiri dari stasiun Winong, Randupitu, Jawi, Wilo, Prigen, dan Bekacak (6 buah stasiun). Persamaan model yang diperoleh adalah:

$$y_{ink} = W_{0k} + \sum \{(B + \sum (Z_1 X_{Wn} + Z_1 X_{Rp} + Z_1 X_{Jw} + Z_1 X_{Wl} + Z_1 X_{Pr} + Z_1 X_{Bk}) W_{1k} \\ + \dots + (B + (Z_6 X_{Wn} + Z_6 X_{Rp} + Z_6 X_{Jw} + Z_6 X_{Wl} + Z_6 X_{Pr} + Z_6 X_{Bk}) W_{6k})\}$$

dengan :  $y_{ink}$  = nilai output

$W$  = bobot dari *hidden layer* ke *output*

$X$  = *neuron* pada *input layer*

$Z$  = *hidden layer*

$B$  = bias/unit masukan

4. Hubungan yang paling kuat antara aspek topografi terhadap curah hujan adalah beda tinggi terhadap curah hujan ( $R = 0,918$ ), dimana semakin tinggi elevasi stasiun hujan (semakin besar beda tinggi terhadap AWLR), maka curah hujannya juga akan bernilai semakin tinggi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada studi ini, beberapa hal yang disarankan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi jaringan stasiun hujan yang ada pada saat ini dinilai cukup berlebihan dan kurang efektif, sehingga stasiun-stasiun hujan yang dianggap kurang mewakili kondisi DAS dapat dipindahkan ke titik lain di Sub DAS Kadelpang yang jarak antar stasiunnya sangat jauh atau bisa juga dipindahkan ke DAS lain yang kerapatan jaringannya masih rendah di wilayah Pasuruan (masih dalam wilayah kerja Dinas Kabupaten Pasuruan).
2. Analisis JST belum banyak digunakan dalam analisis jaringan stasiun hujan, sehingga perlu dilakukan studi-studi lebih lanjut untuk memastikan ketelitiannya. Meski demikian, metode JST dirasa menyita waktu yang cukup banyak apabila studi yang dilakukan mencakup banyak sekali stasiun hujan, sehingga mungkin lebih cocok dan hanya sesuai digunakan untuk DAS kecil dengan stasiun yang tidak terlalu banyak.
3. Pada prakteknya, hubungan terjadinya debit yang berasal dari hujan tidak sesederhana yang bisa dibayangkan. Agar analisis JST dapat memodelkan debit dengan baik, tentunya membutuhkan data yang lebih lengkap (bukan data hujan saja), misalnya data penggunaan lahan, tutupan vegetasi, topografi, serta jenis tanah. Namun, pada kenyataannya data tersebut sulit untuk didapatkan, sehingga analisis hanya terbatas pada pemodelan hujan – debit saja.
4. Faktor penting lainnya ialah hubungan (korelasi) antara setiap hujan terhadap debit harus cukup baik. Apabila tidak demikian, maka dapat dimaklumi apabila hasil analisis pada akhirnya kurang memuaskan. Faktor lain yang juga diduga bisa memberikan pengaruh adalah jeda waktu atau *time lag*, namun agaknya faktor ini sangat dominan pada basis data harian. Sedangkan pada data bulanan kiranya dapat diabaikan (tidak terlalu besar).
5. Hubungan aspek topografi terhadap curah hujan pada studi ini masih bersifat hipotetik dan empiris untuk wilayah DAS yang dikaji, sehingga perlu mendapatkan banyak sekali perbandingan dari DAS lain agar menguatkan argumentasi yang dimiliki.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bonnier, 1980. *Probability Distribution and Probobaility Analysis*. DPMA: Bandung.
- Chow, Ven Te. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J. & Cuddy, S. 2005. *IHACRES User Guide*. Australia: ICAM Centre dan The Australian National University.
- Faisal, Farid dan Alifi Maria Ulfah. 2009. *Korelasi antara Total Curah Hujan Terhadap Kadar SPM Tahun 2004 – 2008 di Jakarta dalam Proses Pembersihan Atmosfer oleh Hujan*. Jakarta: Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Faridhotin, Ima. 2017. *Water Level Forecasting in Downstream of Bengawan Solo at Bojonegoro-Lamongan Section Due to Bojonegoro Barrage using Artificial Neural Network Method*. Malang: Universitas Brawijaya (ICWRDEP).
- Fathoni, Syarief. 2016. *Analisis Efektivitas Kerapatan Jaringan Pos Stasiun Hujan di DAS Kedungsoko dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network)*. Tesis, Universitas Brawijaya Malang. Tidak Diterbitkan.
- Harto, Sri. 1990. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hermawan, Arief. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Linsley Jr., Ray K., Max A. Kohler, Joseph L. H. Paulus. 1986. *Hidrologi Untuk Insinyur*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. & Rodhe, A. 1999. *Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations*. Elsevier Agricultural and Forest Meteorology.
- Prawati, Eri. 2002. *Studi Evaluasi Kerapatan dan Pola Penyebaran Stasiun Penakar Hujan di DAS Ngrowo dan Sub DAS Widan*. Tesis, Universitas Brawijaya Malang. Tidak Diterbitkan.
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik: Edisi ke-2 [Dengan Perbaikan]*. Jakarta: Erlangga.
- 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.
- Sugiyono. 2017. *Matematika: Aproksimasi Kesalahan*. Modul, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Tidak diterbitkan.

Sutojo, T. Edy Mulyanto dan Vincent Suhartono. 2011. *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Widodo, Thomas Sri. 2005. *Sistem Neuro Fuzzy Untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.

Wilson, EM. 1974. *Engineering Hydrology*. London: Willian and Basintoke.

Yudha, Nevandria Satrya. 2017. *Application of Artificial Neural Network to Forecast River Water Quality in Jrebeng Bridge Point, Gresik Regency*. Malang: Universitas Brawijaya (ICWRDEP).