

**PEMODELAN DEBIT SUNGAI KAHAYAN MENGGUNAKAN  
JARINGAN SYARAF TIRUAN BERDASARKAN DATA HUJAN DAN  
EVAPOTRANSPIRASI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PENGETAHUAN DASAR  
SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JANO ALPIKARIGO  
NIM. 155060401111006**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus Sang Juruselamat yang telah memberikan petunjuk serta berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul **“Pemodelan Debit Sungai Kahayan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Berdasarkan Data Hujan dan Evapotranspirasi”**.

Laporan Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerajan tugas ini masih banyak kekurangan sehingga Laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penyusun.

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih kepada segenap pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini terlebih kepada :

1. Kedua orangtua dan keluarga saya atas doa, dukungan, motivasi serta kasih sayang nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Dr.Very Dermawan, ST., MT, dan Dr. Ir. Widandi Soetopo, M.Eng. selaku dosen pembimbing Skripsi yang telah banyak membantu, memberi masukan serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
3. Dr. Ery Suhartanto, ST., MT., dan Dr.Eng. Donny Harisuseno, ST.,MT. selaku dosen penguji yang telah berkenan menguji serta memberi masukan serta saran sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi ini.
4. Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Teman-teman di gereja Hosianna yang menjadi salah satu motivasi dan penyemangat dalam perantauan saya
7. Teman-teman KTB, Yosua, Hendra, Segah, Benneth, Rachel, dan Aldy
8. Adik perempuan saya Jesika Gita Gloria yang telah memasuki dunia perkuliahan
9. Teman-teman dari PMK Yehezkiel FT-UB khususnya Yehezkiel 2015 yang memberi saya pengalaman baru tentang pelayanan, dan tempat bertumbuh dalam iman.

10. Teman-teman KBMP khususnya WRE 2015 atas segala dukungannya.
11. semua pihak yang telah membantu dalam terselesaikannya penyusunan Skripsi ini yang luput disebutkan

Skripsi ini mungkin masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun berharap pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang konstruktif untuk dijadikan bahan evaluasi, selamat membaca.

Malang, September 2019

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>	xi
<b>RINGKASAN.....</b>	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	5
2.1 Siklus Hidrologi .....	5
2.2 Presipitasi .....	6
2.3 Evapotranspirasi .....	6
2.3.1 Definisi.....	6
2.3.2 Perhitungan Evapotranspirasi dengan Metode Penman .....	7
2.4 Analisa Hidrologi.....	9
2.4.1 Hujan Rerata Daerah .....	9
2.4.2 Uji Ketiadaan <i>Trend</i> .....	9
2.4.1.1 Uji Peringkat Metode Sperman.....	9
2.4.1.2 Uji Mann Whitney .....	10
2.4.1.3 Uji Cox Stuart .....	10
2.4.3 Uji Stasioner .....	11
2.4.2.1 Uji Kestabilan Nilai Varian (Uji F).....	11

2.4.2.2 Uji Kestabilan Nilai Rata-rata (Uji T) .....	15
2.5 Daerah Aliran Sungai.....	17
2.5.1 Karakteristik Sungai dan Daerah Aliran Sungai .....	17
2.6 Matlab R2015A .....	18
2.7 Jaringan Syaraf Tiruan .....	20
2.7.1 Sejarah Jringan Syaraf Tiruan.....	22
2.7.2 Komponen Jaringan Syaraf Tiruan .....	22
2.7.3 Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan .....	23
2.7.3.1 Cara kerja Jaringan Syaraf Tiruan .....	23
2.7.4 Fungsi Aktivasi .....	24
2.7.5 Arsitektur Jaringan.....	26
2.7.5.1 Jaringan Layar Tunggal ( <i>Single Layer Nerwork</i> ).....	26
2.7.5.2 Jaringan Layar Jamak ( <i>Multylayer Nerwork</i> ).....	26
2.7.5.3 Jaringan <i>Reccurent</i> .....	27
2.7.6 Bias dan Threshold .....	27
2.7.7 Metode Pelatihan .....	27
2.7.7.1 Hebb Rule.....	28
2.7.7.2 Perceptron.....	28
2.7.7.3 Delta Rule.....	29
2.7.7.4 <i>Backpropagation</i> .....	29
2.7.8 Pelatihan <i>Backpropagation</i> .....	30
2.7.8.1 Optimasi Arsitektur Backpropagation.....	32
2.7.8.2 Pemilihan Bobot dan Bias Awal .....	32
2.7.8.3 Jumlah Unit Tersembunyi ( <i>Hidden Layer</i> ) .....	33
2.7.8.4 Jumlah Pola Penelitian .....	33
2.7.8.5 Lama Iterasi .....	33
2.7.8.6 Variasi <i>Backpropagation</i> .....	34
2.7.8.7 Aplikasi <i>Backpropagation</i> dalam Peramalan .....	35
2.7.9 Parameter Jaringan Syaraf Tiruan.....	36
2.7.10 Membuat Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation Menggunakan Matlab .....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Lokasi Daerah Studi.....	41
3.1.1 Kondisi Iklim.....	41

3.1.2 Kondisi Topografi dan Wilayah .....	41
3.2 Data-data yang Diperlukan .....	41
3.3 Prosedur Pengolahan Data .....	45
3.4 Diagram Penggerjaan Studi .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
4.1 Tahap Pengolahan Data .....	51
4.1.1 Pengolahan data Evapotranspirasi .....	51
4.1.2 Pengolahan Data Curah Hujan .....	53
4.1.2.1 Curah Hujan Rerata Daerah.....	53
4.1.2.2 Uji Ketiadaan <i>Trend</i> .....	57
4.1.2.2.1. Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman .....	57
4.1.2.2.2. Uji Mann Whitney .....	61
4.1.2.2.3. Uji Tanda Cox dan Stuart .....	63
4.1.2.3 Uji Stasioner .....	66
4.1.2.3.1. Uji F .....	66
4.1.2.3.2. Uji T .....	68
4.2 Pengolahan Data MATLAB R2015A .....	71
4.3 Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model .....	85
4.3.1 <i>Mean Square Error</i> (MSE).....	86
4.3.2 <i>Mean Absolute Error</i> (MAE) .....	86
4.3.3 Koefisien Korelasi (R).....	87
4.3.4 Kesalahan relatif (KR).....	87
4.3.5 <i>Nash–Sutcliffe Model Efficiency Coefficient</i> (NSE).....	87
4.4 Pemodelan Debit Tahun 2018.....	89
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>93</b>
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran.....	94

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Fungsi Temperatur .....	7
Tabel 2.2	Radiasi Gelombang Pendek di Tepi Luar Atmosfer .....	8
Tabel 2.3	Koefisien Refleksi (Albedo).....	9
Tabel 2.4	Nilai Kritis Fc (Derajat Kepercayaan 5%) Distribusi F .....	13
Tabel 2.5	Sebaran Nilai T-Student .....	16
Tabel 2.6	Kriteria Nilai Koefisien Korelasi .....	37
Tabel 2.7	Kriteria Nilai NSE .....	38
Tabel 3.1	Prosedur Pengolahan Data.....	45
Tabel 4.1	Rekapitulasi Nilai Et .....	52
Tabel 4.2	Curah Hujan Rerata Daerah Bulanan Menggunakan Metode Aljabar .....	52
Tabel 4.3	Tabel Perhitungan Peringkat Metode Spearman Hujan Rerata Daerah ....	57
Tabel 4.4	Tabel Perhitungan Uji Mann Whitney Hujan Rerata Daerah .....	61
Tabel 4.5	Tabel Perbandingan Data Kelompok I dan III Uji Cox & Stuart Hujan Rerata Daerah Daerah .....	63
Tabel 4.6	Rekapitulasi Hasil Uji Ketiadaan Trend Hujan Rerata Daerah .....	65
Tabel 4.7	Tabel Uji F Pada Data Hujan Rerata Daerah .....	66
Tabel 4.8	Tabel Uji T Pada Data Hujan Rerata Daerah .....	68
Tabel 4.9	Rekapitulasi Hasil Uji Stasioner Pada Data Hujan Rerata Daerah .....	70
Tabel 4.10	Rekapitulasi data <i>input</i> dan target pada program Matlab R2015A .....	71
Tabel 4.11	Hasil kalibrasi jaringan arsitektur .....	78
Tabel 4.12	Tabel Nilai Regresi (R) .....	82
Tabel 4.13	Tabel Rekapitulasi Debit Pemodelan dengan Debit AWLR .....	83
Tabel 4.14	Tabel Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model.....	85
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Jaringan Arsitektur .....	88
Tabel 4.16	Hasil Pemodelan Data Debit Tahun 2018 .....	90
Tabel 5.1	Hasil Kalibrasi Jaringan Arsitektur .....	93

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Siklus Hidrologi .....	6
Gambar 2.2	Daerah Aliran Sungai .....	17
Gambar 2.3	<i>Command Windows</i> .....	19
Gambar 2.4	<i>Workspace</i> .....	19
Gambar 2.5	<i>Network Data Manager</i> .....	20
Gambar 2.6	Konsep Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan .....	23
Gambar 2.7	Fungsi Sigmoid Biner .....	24
Gambar 2.8	Fungsi Sigmoid Bipolar .....	25
Gambar 2.9	Fungsi Identitas .....	25
Gambar 2.10	Jaringan Layar Tunggal .....	26
Gambar 2.11	Jaringan Layar Jamak .....	27
Gambar 2.12	Arsitektur Jaringan Hebb Rule .....	28
Gambar 2.13	Pembatasan Linear Dengan Perceptron .....	28
Gambar 2.14	Arsitektur Jaringan Delta Rule .....	29
Gambar 2.15	Lapisan Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	29
Gambar 2.16	Arsitektur <i>Backpropagation</i> .....	30
Gambar 2.17	Variabel <i>Input</i> dan Target Pada Jendela <i>Workspace</i> .....	38
Gambar 2.18	Jendela <i>Network Data Manager</i> .....	39
Gambar 2.19	Jendela <i>Create Network or Data</i> .....	39
Gambar 2.20	Jaringan Arsitektur Pada Aplikasi Matlab .....	30
Gambar 3.1	Lokasi Daerah Studi .....	43
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi .....	47
Gambar 3.3	Diagram Alir Pemodelan JST Metode Backpropagation .....	49
Gambar 4.1	Pola Trend Pada Data Curah Hujan Rerata Daerah .....	65
Gambar 4.2	<i>Home Toolstrip</i> .....	74
Gambar 4.3	<i>Workspace</i> .....	75
Gambar 4.4	jendela Variable “input” .....	75
Gambar 4.5	jendela Variable “target” .....	75

Gambar 4.6	jendela Variable “sampel” .....	75
Gambar 4.7	Jendela Penyimpanan <i>Workspace</i> .....	76
Gambar 4.8	Jendela <i>Network Data/Manager</i> .....	76
Gambar 4.9	Jendela <i>Import To Network Data/Manager</i> .....	77
Gambar 4.10	Jendela <i>Create Network Or Data</i> .....	77
Gambar 4.11	Jendela <i>Network</i> .....	78
Gambar 4.12	Jendela <i>Network Training Info</i> .....	79
Gambar 4.13	Jendela <i>Network Training Parameter</i> .....	79
Gambar 4.14	Jendela <i>Neural Network Training</i> .....	80
Gambar 4.15	Grafik <i>Performance</i> .....	80
Gambar 4.16	Grafik <i>Training State</i> .....	81
Gambar 4.17	Grafik <i>Regresion</i> .....	81
Gambar 4.18	Jendela <i>Network simulate</i> .....	82
Gambar 4.19	Jendela <i>Export From Network/Data Manager</i> .....	82
Gambar 4.20	Jendela <i>Workspace</i> Dengan Data yang Telah Dieksport.....	83
Gambar 4.21	Menyalin Data Dari Aplikasi Matlab R2015A ke MS Excel .....	83
Gambar 4.22	Jaringan Arsitektur (2-2-1) .....	91
Gambar 4.23	Jendela <i>Network Simulate</i> .....	92
Gambar 4.24	Jendela <i>Export From Network/Data Manager</i> .....	92

## DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Tabel Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model .....	95
Lampiran 2	Tabel Data Curah Hujan .....	159



Halaman ini sengaja dikosongkan



## RINGKASAN

Jano Alpikarigo, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, *Pemodelan Debit Sungai Kahayan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Berdasarkan Data Hujan dan Evapotranspirasi*. Dosen pembimbing: Very Dermawan dan Widandi Soetopo.

Data debit merupakan salah satu dasar dalam suatu perencanaan pada sebuah kegiatan pengelolaan sumber daya air, dengan adanya analisa curah hujan terhadap debit sungai dapat menjadi alternatif dalam perencanaan bangunan air dengan penggunaan metode yang tepat hasil analisa debit akan mendekati nilai-nilai hidrologis. Tetapi dalam perhitungannya diperlukan banyak parameter yang harus ditinjau, dengan perkembangan perangkat lunak komputer diharapkan mampu untuk mengerjakan tugas dan pekerjaan analisa yang seharusnya hanya bisa dikerjakan oleh manusia, kemampuan ini disebut Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*)

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan salah satu kecerdasan buatan dengan cara kerja seperti otak manusia dengan fitur prediksi atau peramalan Jaringan Syaraf Tiruan dapat menjadi metode dalam analisa hubungan curah hujan terhadap debit, dengan adanya metode Jaringan Syaraf Tiruan dapat menjadi pilihan dalam memprediksi debit model dengan harapan hasil debit model mendekati nilai hidrolis.

Dalam studi ini pemodelan debit menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan metode pelatihan Backpropagation menggunakan data curah hujan dan data evapotranspirasi sebagai data input dalam pemodelan debit.

Berdasarkan hasil pemodelan debit dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan didapat hasil kesalahan dan keandalan debit model. Besarnya kesalahan dalam memodelkan debit dapat dilihat dari nilai Mean Square Error (MSE), dan Mean Absolute Error (MAE), sedangkan tingkat keandalan suatu jaringan dalam memodelkan suatu data dapat dilihat dari nilai Koefisien Korelasi (R), dan Nash–Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NSE). Hasil pemodelan debit menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan, mempunyai hasil dengan nilai MSE = 4390,98, MAE = 37,48, R = 0,95, dan NSE = 0,901.

Kata kunci: Jaringan Syaraf Tiruan, pemodelan debit, hujan, evapotranspirasi

Halaman ini sengaja dikosongkan



## SUMMARY

Jano Alpikarigo, *Water Resources Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Kahayan River Discharge Modeling Using Artificial Neural Networks Based on Precipitation and Evapotranspiration Data. Supervisor lecture: Very Dermawan and Widandi Soetopo.*

*Discharge data is one of the basics in planning a water resource management activity, with the analysis of rainfall on river discharge can be an alternative in water building planning with right methods the results of the discharge analysis will approach hydrological values. But in the calculations a lot of parameters must be reviewed, with software development is expected able to do the task and analysis work that should only be done by humans, this ability is called Artificial Intelligence.*

*Artificial Neural Network (ANN) is one of artificial intelligence by working like a human brain with predictive features or forecasting Artificial Neural Networks can be a method in analyzing the correlation of rainfall with discharge, with Artificial Neural Network methods can be an option in predicting the discharge models with expectations the results of the model discharge approach the hydraulic value.*

*In this study discharge modeling using Artificial Neural Networks (ANN) with Backpropagation training methods. Using precipitation data and evapotranspiration data as input data in discharge modeling.*

*Based on the results of the discharge modeling using artificial neural networks discovered the error results and reliability the discharge model. errors result in modeling discharge can be seen from the value of Mean Square Error (MSE), and Mean Absolute Error (MAE), while network reliability in data modeling can be seen from the Coefficient Correlation (R), and Nash-Sutcliffe Efficiency Model (NSE). The results of discharge modeling using Artificial Neural Networks, have the results with the value of MSE = 4390,98, MAE = 37,48, R = 0,95, and NSE = 0,901*

*Keywords:* Artificial Neural Networks, discharge modeling, rain, evapotranspiration.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Hujan merupakan sebuah presipitasi berwujud cairan, dimana proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butir air yang cukup berat untuk jatuh dan biasanya tiba di daratan. Hujan yang jatuh di daratan umumnya akan mengalami infiltrasi menjadi air tanah atau memenuhi cekungan-cekungan pada daratan. Air hujan yang mengalir pada permukaan lahan akan mengalir masuk ke parit kemudian dialirkan ke anak sungai dan sungai sehingga membentuk Daerah Aliran Sungai (DAS).

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah wilayah daratan dengan topografi yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung, sehingga menampung dan menyimpan air hujan yang nantinya disalurkan ke laut melalui sungai utama. Dataran yang berfungsi menjadi daerah tangkapan air (DTA) atau *catchment area* merupakan suatu ekosistem dengan unsur utama terdiri dari sumber daya alam (vegetasi, air, dan tanah), serta sumber daya manusia sebagai pengguna dan pemanfaat sumber daya alam, hujan yang jatuh pada *catchment area* ini yang nantinya akan menjadi debit.

Data debit merupakan salah satu dasar dalam suatu perencanaan pada sebuah kegiatan pengelolaan sumber daya air. Penentuan nilai debit dapat dilakukan melalui pengukuran secara langsung di lapangan ataupun melalui analisa. Dengan adanya analisa curah hujan terhadap debit sungai dapat menjadi alternatif dalam perencanaan bangunan air, dengan penggunaan metode yang tepat hasil analisa debit akan mendekati nilai-nilai hidrologis. Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam menganalisa debit model, tetapi dalam perhitungannya diperlukan banyak parameter yang harus ditinjau. Mengatasi masalah tersebut diperlukan adanya sistem analisa yang dapat memprediksi debit dengan baik.

Perkembangan perangkat lunak komputer diharapkan mampu untuk mengerjakan tugas dan pekerjaan analisa yang seharusnya hanya bisa dikerjakan oleh manusia, kemampuan ini disebut Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*). Kecerdasan buatan merupakan ilmu yang lahir di Negara Inggris tahun 1950 oleh seorang ahli matematika bernama Alan Turing (Kusumadewi, 2003,P.5). Dikarenakan unsur perangkat keras yang mahal, maka Kecerdasan Buatan dikembangkan dalam bentuk perangkat lunak.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan salah satu kecerdasan buatan, dengan cara kerja seperti otak manusia dengan fitur prediksi atau peramalan.

Jaringan Syaraf Tiruan dapat menjadi metode dalam analisa hubungan curah hujan terhadap debit. Berikut merupakan keunggulan jaringan syaraf tiruan, yaitu:

1. dapat mewakili setiap fungsi nonliniear acak yang memberikan kompleksitas yang cukup pada suatu jaringan terlatih
2. mampu menemukan hubungan antara masukan/*input sample* yang berbeda dan jika perlu mampu mengelompokan sampel dalam mode analog dengan analisis *cluster*
3. mampu menetralisasikan hubungan dari himpunan kecil data walau terdapat data yang tersisa, namun tetap relatif kuat meskipun terdapat masukan data yang rusak atau hilang.

Dengan keunggulan Jaringan Syaraf Tiruan di atas, Jaringan Syaraf tiruan dapat menjadi pilihan dalam memprediksi debit model dengan harapan hasil debit model mendekati nilai hidrolis debit di lapangan dan juga Jaringan Syaraf Tiruan dapat menjadi alternatif pilihan dalam mengukur debit apabila suatu waktu terjadi kejadian yang tidak diinginkan seperti rusaknya data atau alat pengukur debit yang tidak berfungsi. Dalam pelaksanaan studi ini, penulis memerlukan referensi studi terdahulu sebagai penunjang hasil penulisan merupakan studi terdahulu pada jurusan Teknik Pengairan yang menggunakan metode jaringan syaraf tiruan:

Alfahnie. (2016). Analisa Tinggi Curah Hujan Berdasarkan Kondisi Klimatologi Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Kurniawati. (2016). Analisa Tinggi Muka Air Bengawan Solo Hilir Akibat Adanya Floodway Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Muhlisa. (2016). Analisa Peramalan Gelombang Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan pada Perencanaan Dermaga TKUKS PT. Petrokimia Gresik (PERSERO). Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Widyastuti. (2016). Analisa Hujan-Limpasan Menggunakan Model Artificial Neural Network di Sub DAS Lesti. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Yudha. (2017). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Memprediksi Kualitas Air Sungai di Titik Jembatan Jrebeng Kabupaten Gresik. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Sungai Kahayan dengan panjang kurang lebih 600 km dan lebar 500 m melewati beberapa kabupaten seperti Kabupaten Gunung Mas, Kabupaten Kapuas, Kabupaten Katingan, Kabupaten Murung Raya, Kabupaten Pulang Pisau, Kota Palangka Raya, dan bermuara di Laut Jawa. DAS Kahayan merupakan daerah yang memiliki iklim tropis, dengan sejumlah besar curah hujan sepanjang tahun, hal ini berlaku bahkan untuk bulan terkering. Pada setiap musim penghujan terjadi banjir pada daerah sekitar bantaran Sungai Kahayan, daerah yang terkena dampak banjir yaitu pada Kecamatan Rakumpit, Kecamatan Bukit Batu, Kecamatan Jekan Raya, dan Kecamatan Pahandut.

Dengan banjir yang terjadi di sekitar bantaran sungai maka diperlukan adanya analisis data hidrologi untuk menunjang perencanaan bangunan pengendali banjir yang akan menjadi solusi dari permasalahan banjir tersebut. Namun, banyaknya pos hidrologi yang bermasalah, baik permasalahan teknis, kesalahan pembacaan, dan data yang hilang atau tidak tercatat, serta ketidakakuratan data menyebabkan terhambatnya analisa hidrologi sehingga permasalahan banjir masih terjadi.

Melalui perkembangan teknologi, ditemukannya teknologi yang bernama Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) yang mampu memodelkan data statistik non-linier, dengan kemampuan dari teknologi tersebut dapat dijadikan inovasi dalam memodelkan data hidrologi sehingga permasalahan teknis yang dapat menghambat pembangunan dapat teratasi. Dalam studi ini penulis memodelkan debit sungai berdasarkan data curah hujan dan evapotranspirasi melalui uji model berbasis teknologi jaringan saraf tiruan dengan metode *Backpropagation* dan menggunakan Program Matlab R2015A yang diharapkan mampu menjawab permasalahan tersebut. Untuk keunggulan dari program, berikut merupakan keunggulan dari program Matlab R2015A:

1. modul yang mudah untuk diperoleh
2. memiliki beberapa *toolbox* yang berguna untuk pengolahan sinyal (*signal processing*), pengolahan gambar (*image processing*), dan lain-lain.
3. hasil dari program Matlab sudah dapat dieksport ke C/C++, *Visual Basic*, Fortran, COM, Java, Excel, dan web/internet

## 1.3 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil Kalibrasi debit model Sungai Kahayan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan?

2. Bagaimana hasil Verifikasi debit model dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan terhadap data debit di Sungai Kahayan?
3. Bagaimana hasil Validasi debit model terhadap debit di Sungai Kahayan?

#### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penyelesaian permasalahan agar tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini, maka diberikan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Uji model yang digunakan adalah berbasis pada teknologi jaringan saraf tiruan dengan metode *Backpropagation* menggunakan program Matlab R2015A.
2. Data hujan diperoleh dari beberapa stasiun hujan seperti stasiun Hujan Palangka Raya dan Stasiun Hujan Bukit Tunggal, sedangkan data *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) menggunakan data Pos Duga Air Palangkaraya, serta data klimatologi diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tjilik Riwut .
3. Membahas simulasi debit model melalui teknologi jaringan syaraf tiruan dengan metode *Backpropagation*, hasil simulasi debit model dibandingkan dengan debit pada strasiun AWLR Sungai Kahayan.
4. Data hujan, data klimatologi dan data debit harian dengan periode 10 tahun (2008-2017)

#### **1.5 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Dalam penelitian ini tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Mengetahui hasil Kalibrasi debit model Sungai Kahayan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan
2. Mengetahui hasil Verifikasi debit model dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan terhadap data debit di Sungai Kahayan
3. Mengetahui hasil Validasi debit model terhadap debit di Sungai Kahayan.

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah diharapkan analisa debit model ini dapat dijadikan sebuah referensi yang juga dapat diterapkan pada kasus daerah aliran sungai (DAS) yang serupa. Sehingga masalah kondisi keterbatasan data hujan maupun data debit untuk pengelolaan sumber daya air (SDA) dapat diselesaikan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Siklus Hidrologi

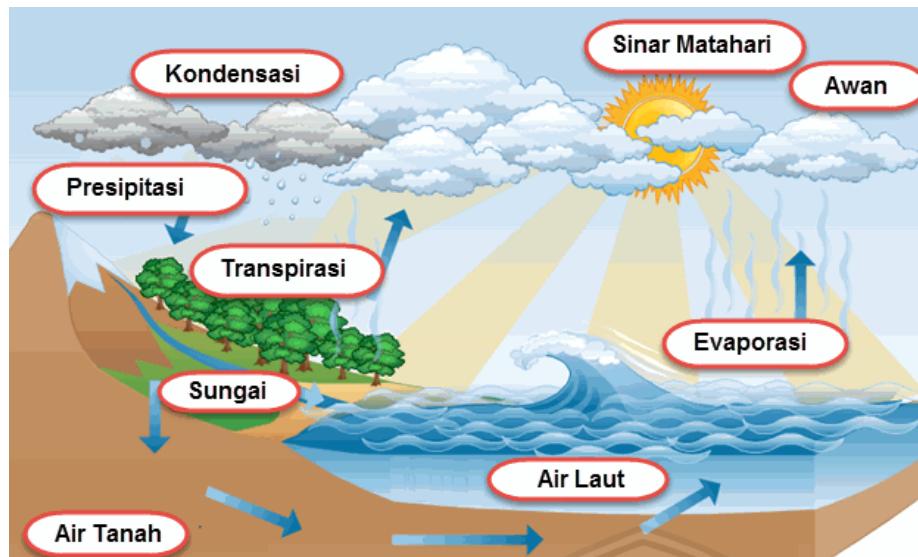
Siklus hidrologi atau daur siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, kekemudian jatuh ke permukaan tanah dan akhirnya kembali mengalir ke laut. Air laut menguap karena adanya radiasi matahari menjadi awan kemudian awan tersebut tertiu dan bergerak ke daratan. presipitasi yang terjadi karena adanya turukan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, sehingga membentuk hujan atau salju. Setelah jatuh ke permukaan tanah, akan menyebabkan limpasan (*runoff*) yang sebagian mengalir kembali ke laut dan sebagian lagi masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan bergerak terus ke bawah (perkolasi) ke lapisan tanah yang lebih jenuh (*saturated zone*) yang terdapat di bawah permukaan air tanah (freatik). Air pada daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati *aquifer* kemudian masuk ke sungai atau terkadang langsung menuju ke laut (Soemarto, 1999, p.2).

Jumlah air yang mengalir sebagai aliran limpasan dan terinfiltasi tergantung dari banyak faktor. Semakin besar bagian air hujan yang mengalir sebagai aliran limpasan, maka jumlah air yang terinfiltasi semakin sedikit. Demikian pula sebaliknya aliran limpasan selanjutnya mengisi cekungan atau tampungan (*depression storage*). Apabila air dalam tampungan telah terpenuhi maka akan terjadi limpasan permukaan (*surface runoff*) yang selanjutnya mengalir ke laut. Dari siklus tersebut dapat disimpulkan bahwa sungai mengumpulkan tiga jenis limpasan yaitu (Harto, 2010, p.9):

1. Limpasan permukaan (*surface runoff*)
2. Aliran intra
3. Limpasan air tanah (*groundwater runoff*)

Menurut Soemarto (1978, p.18), ada empat macam proses dalam daur hidrologi yang harus di pelajari oleh para ahli hidrologi dan teknisi bangunan air yaitu:

- a. Presipitasi
- b. Evaporasi
- c. Infiltrasi
- d. Limpasan permukaan (*surface runoff*) dan limpasan air tanah (*subsurface runoff*).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Sumber: <https://www.indonesiastudents.com/pengertian-hidrosfer-siklus-hidrologi-serta-contohnya-lengkap/> (diakses pada tanggal 8 februari 2019)

## 2.2 Presipitasi

Presipitasi atau curah hujan terjadi akibat adanya massa udara yang menjadi dingin, mencapai suhu di bawah titik embunnya dan terhadap inti higroskopik yang dapat memulai pembentukan molekul air. Apabila massa udara terangkat ke atas, dan menjadi dingin karena ekspansi *adiabatic*, dan mencapai ketinggian yang memungkinkan terjadinya kondensasi akan terbentuknya awan. Hujan hanya akan terjadi apabila molekul-molekul air hujan mencapai ukuran 1 mm, hal ini memerlukan waktu yang cukup untuk menjadi ukuran 1-100 mikron. Presipitasi merupakan faktor utama yang mengendalikan proses daur hidrologi di suatu DAS, sehingga dalam setiap analisis hidrologi yang diperhitungkan adalah perhitungan curah hujan.

## 2.3 Evapotranspirasi

### 2.3.1 Definisi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi. Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua proses tersebut evaporasi dan transpirasi saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak maka evapotranspirasi itu disebut evapotranspirasi-potensial.

Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, bcsarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan komsumtif (comsumptive use) untuk tanaman dan lain-lain. Sedangkan evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi.

### 2.3.2 Perhitungan Evapotranspirasi dengan Metode Penman

Metode Penman “menggabungkan metode transfer massa dan metode neraca energi untuk metode neraca energi untuk menghitung evaporasi. Selanjutnya evapotranspirasi dihitung dengan mengalikan nilai evaporasi dengan suatu konstan empiris.” Hasil penggabungan kedua metode tersebut menghasilkan persamaan berikut (Triatmodjo, 2010, P. 86):

$$E_t = \frac{\beta E_n + E}{\beta + 1} \dots \quad (2-1)$$

Dengan:

$E_t$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

$E_n$  = kedalaman penguapan dalam mm/hari

$\beta$  = fungsi temperatur (didapat dari Tabel 2.1)

Tabel 2.1

### Nilai $\beta$ Fungsi Temperatur

Temperatur (°C)	$\beta = \Delta / \gamma$
0	0,68
5	0,93
10	1,25
15	1,66
20	2,19
25	2,86
30	3,69
35	4,73

Sumber : Triatmodjo (2010, p.86)

Perhitungan nilai E dan nilai  $E_n$ :

$$E_n = \frac{R_n}{\rho_{w,l_v}}. \quad \dots \quad (2-3)$$

Dengan:

$U_2$  = kecepatan angin pada ketinggian diatas 2 m permukaan air (m/dt)

$e_s$  = tekanan uap jenuh (mm Hg)

$e_d$  = tekanan uap udara (mm Hg)

$R_n$  = radiasi netto yang diterima permukaan bumi ( $\text{cal/cm}^2/\text{hari}$ )

$\rho_w$  = rapat massa air ( $\text{gr/cm}^3$ )

$l_v$  = panas laten untuk evaporasi (cal/gr)

perhitungan nilai  $R_n$  dan nilai  $l_v$ :

Dengan:

T = temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$S_n$  = radiasi matahari yang diserap bumi ( $\text{cal/cm}^2/\text{hari}$ )

$L_n$  = radiasi gelombang panjang netto (cal/cm<sup>2</sup>/hari)

Perhitungan nilai  $S_n$  dan nilai  $L_n$ :

$$S_n = S_0(1 - \alpha) \left( 0,29 + 0,42 \frac{n}{N} \right) \dots \quad (2-6)$$

$$r = \frac{e_d}{e_s} \cdot 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2-8)$$

Dengan:

$S_0$  = radiasi matahari global dibagian luar atmosfer (didapat dari Tabel 2.2)

$\alpha$  = koefisien refleksi (didapat dari Tabel 2.3)

$\frac{n}{N}$  = lama penyinaran matahari

$\sigma$  = konstanta Stevan-Boltzman ( $1,17 \times 10^{-7}$  cal/cm<sup>2</sup>/°K/hari)

$e_s$  = tekanan uap jenuh (mm Hg)

$e_d$  = tekanan uap udara (mm Hg)

T = suhu ( $^{\circ}$ C)

Tabel 2.2  
Radiasi Gelombang Pendek di Tepi Luar Atmosfer

Lintang	jan	feb	mar	apr	mei	jun	jul	ags	sep	okt	nov	des
50 LU	225	360	555	750	930	1010	970	830	640	435	120	190
40 LU	380	505	675	845	965	1020	985	895	740	565	265	335
30 LU	520	630	775	895	975	1000	990	925	820	685	415	490
20 LU	660	750	850	920	960	965	960	935	875	785	560	630
10 LU	780	840	900	925	915	900	905	915	905	865	685	760
0	885	915	925	900	850	820	830	870	905	910	800	875
10 LS	965	960	915	840	755	710	730	795	875	935	955	960
20 LS	1020	975	885	765	650	590	615	705	820	930	1000	1025
30 LS	1050	965	830	665	525	460	480	595	750	900	1020	1065
40 LS	1055	925	740	545	390	315	345	465	650	840	995	1080
50 LS	1035	865	640	415	250	180	205	325	525	760	975	1075

---

Sumber : Triatmodjo (2010, p.64)

Tabel 2.3

Koefisien Refleksi (Albedo)	
Jenis Permukaan	Albedo ( $\alpha$ )
Air Terbuka	0,05 - 0,15
Pasir	0,10 - 0,20
Hutan	0,05 - 0,20
Rumput Kering	0,15 - 0,25

Sumber : Triatmodjo (2010, p.58)

## 2.4 Análisis Hidrológico

Analisa kualitas data dilakukan dengan untuk mengetahui kualitas data yang digunakan dalam perhitungan. Data yang diperoleh belum dapat dipastikan baik karena dalam pengamatan di lapangan masih ada kemungkinan adanya kesalahan atau faktor-faktor lingkungan yang menyebabkan kualitas data kurang baik

#### **2.4.1 Hujan rerata daerah**

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rerata daerah. Salah satu metode perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan metode Aljabar, dimana perhitungan hujan rerata daerah dihitung secara rata-rata aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan sebagai berikut (Sorsodarsono, 2003, p.27):

$$\bar{R} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots \quad (2-10)$$

Dengan:

$\bar{R}$  = curah hujan daerah (mm)

n = jumlah pos pengamatan

$R_1, R_2, R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

#### 2.4.2 Uji Ketjadaan *Trend*

Deret berkala yang nilainya menunjukkan gerakan yang berjangka panjang dan mempunyai kecenderungan menuju ke satu arah menaik atau menurun disebut dengan pola atau *trend*. Apabila suatu data menunjukkan suatu *trend* maka dapat diuji dengan analisa lanjutan yaitu analisa regresi.

#### **2.4.2.1 Uji Peringkat Metode Sperman**

Koefisien korelasinya dapat digunakan untuk “menentukan ketiadaan *trend* dari suatu deret berkala”. Salah satu cara adalah dengan menggunakan koefisien korelasi peringkat metode Spearman, sebagai berikut (Soewarno, 1995, p.87):

Dengan:

KP = koefisien korelasi peringkat dari Spearman

n = jumlah data

$$dt = R_t - T_t$$

Tt = peringkat dari waktu

Rt = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala

$T$  = nilai distribusi t, pada derajat kebebasan ( $n-2$ ) untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%)

Uji-t digunakan untuk menentukan apakah variable waktu dan variabel hidrologi saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*). Dalam hal ini yang diuji adalah Tt dan Rt.

#### 2.4.2.2 Uji Mann Whitney

Uji Mann Whitney untuk menguji apakah dua kelompok data yang tidak berpasangan berasal dari populasi yang sama atau berbeda. Dari dua kelompok sampel yang diukur dari dua kelompok populasi A dan B, maka dapat dibuat hipotesis bahwa populasi A mempunyai sebaran yang sama dengan populasi B. Untuk pengujian kedua kelompok data tadi akan digabungkan dan kemudian dibuat rangkaian dari data tersebut dengan memberikan peringkat pada tiap data. Berikut tahapannya:

1. Gabungkan kedua kelompok data A dan B
  2. Buat peringkat pada tiap data dari yang terkecil sampai yang terbesar
  3. Hitung jumlah peringkat pada tiap kelompok
  4. Menghitung parameter statistik (Soewarno, 1995, p.88):

5. Pilih nilai terkecil antara  $U_1$  dan  $U_2$  sebagai nilai  $U$
  6. Hitung uji Mann Whitney:

$$Z = \frac{U_1 - \frac{N_1 N_2}{2}}{\left(\frac{1}{2} (N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1))\right)^{0.5}} \dots \quad (2-15)$$

Kelompok A dan B dianggap mempunyai distribusi normal, sehingga dapat ditentukan nilai  $Z_c$  dalam pengujian 2 sisi. Bila nilai  $Z < Z_c$  maka  $H_0$  diterima, begitu pula sebaliknya.

### 2.4.2.3 Uji Cox Stuart

Perubahan trend dapat juga dilihat dengan uji tanda Cox dan Stuart. Nilai data dalam satu garis waktu dibagi menjadi 3 kelompok yang sama. Apabila sampel acak tidak dapat dibagi menjadi tiga bagian yang sama, maka bagian yang kedua jumlahnya dikurangi 2 atau

1 buah. Selanjutnya membandingkan nilai pada kelompok 1 dan kelompok 3, dengan memberi tanda (+) untuk nilai positif dan (-) untuk nilai negatif. Jumlah total nilai (+) diberi tanda S, maka nilai Z dapat dihitung sebagai berikut (Soewarno, 1995, p.89):

Untuk sampel besar ( $n \geq 30$ )

Untuk sampel kecil ( $n \leq 30$ )

### 2.4.3 Uji Stasioner

Apabila deret berkala tersebut tidak menunjukkan adanya *trend* sebelum data deret berkala digunakan untuk analisis lanjutan harus dilakukan uji stasioner. Apabila menunjukkan adanya *trend* maka deret berkala tersebut dapat dilakukan analisis menurut garis *trend* yang dihasilkan. Analisis garis *trend* dapat menggunakan analisis regresi. Model matematik yang digunakan untuk analisis regresi tergantung dari kecenderungan garis *trend* yang dihasilkan. Apabila menunjukkan tidak ada garis *trend* maka uji stasioner yang dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan Uji-F (Soewarno, 1995, p.95).

Apabila hasil pengujian Uji F ternyata hipotesis nol ditolak, berarti nilai variannya tidak stabil atau tidak homogen. Deret berkala dengan nilai variannya tidak homogen berarti deret berkala tersebut tidak stasioner, dan tidak perlu melakukan pengujian selanjutnya. Akan tetapi bila hipotesis nol untuk nilai varian tersebut menunjukkan stasioner, maka pengujian selanjutnya adalah menguji kestabilan nilai rata-ratanya. Untuk rata-rata deret berkala bila datanya dianggap sebuah populasi maka dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan Uji-T. Dalam analisis Uji-T, data deret berkala dibagi menjadi dua kelompok atau lebih. Setiap dua pasangan kelompok diuji (Soewarno, 1995, p.97).

#### **2.4.3.1 Uji Kestabilan Nilai Varian (Uji F)**

Uji F dikenal dengan uji serentak atau uji Model, yaitu uji untuk melihat bagaimanakah pengaruh semua variabel bebasnya secara bersama-sama terhadap variabel terikatnya. Atau untuk menguji apakah model regresi yang kita buat baik/signifikan atau tidak baik/non signifikan. Jika model signifikan maka model bisa digunakan untuk prediksi/peramalan, sebaliknya jika non/tidak signifikan maka model regresi tidak bisa digunakan untuk peramalan. Uji analisis frekuensi pada dasarnya adalah menghitung nilai F kemudian nilai F ini dibandingkan dengan nilai F kritis ( $F_{cr}$ ) dari tabel. Adapun yang diuji adalah ketidak

tergantungan atau keseragaman. Perhitungan uji analisis varian dapat digunakan untuk menguji beberapa kelompok sampel atau populasi dari dua atau lebih stasiun misalnya stasiun hujan yang berbeda. Selain itu, dapat digunakan untuk menguji varian dari sampel dengan mengelompokkan menjadi dua atau lebih kelompok. Uji analisis varian dapat bersifat satu arah (*one way*) atau dua arah (*two way*). Rumus yang digunakan dalam analisa varian satu arah adalah (Soewarno, 1995, p.62):

$$S_2^2 = V_1(k-1) \dots \quad (2-20)$$

Dengan:

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

$\bar{X}$  = harga rerata keseluruhan

$X_{ji}$  = pengamatan untuk kelas i pada tahun j

k = banyak kelas

$n_i$  = banyak pengamatan untuk kelas i

$n$  = banyak pengamatan keseluruhan

N = total jumlah pengamatan dari seluruh kelas

## Hipótesa:

$F < F_{cr}$  maka  $H_0$  diterima (data homogen)

$F > F_{cr}$  maka  $H_0$  diterima (data tidak homogen)

Rumus yang digunakan dalam analisa varian dari sampel adalah (Soewarno, 1995, p.38);

$$F = \frac{n_1 s_1^2 (n_2 - 1)}{n_2 s_2^2 (n_1 - 1)} \dots \quad (2-23)$$

$$dk_1 = n_1 - 1$$

$$dk_2 = n_2 - 1$$

Dengan:

$S_1$  = standar deviasi kelompok sampel 1

$S_2$  = standar deviasi kelompok sampel 2

$n_1$  = jumlah sampel kelompok 1

$n_2$  = jumlah sampel kelompok 2

Tabel 2.4  
Nilai Kritis Fc (Derajat Kepercayaan 5%) Distribusi F

dk <sub>2</sub> = V <sub>2</sub>	dk <sub>1</sub> = V <sub>1</sub>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	236,8	238,9	240,5
2	18,5	19	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9	8,9	8,9	8,9	8,8
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	6,1	6	6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5	4,9	4,8	4,8
6	6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2	4,1
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4	3,9	3,8	3,4	3,7
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2
10	5	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	3,1	3
11	4,8	4	3,6	3,4	3,2	3,1	3	3	2,9
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3	2,9	2,9	2,8
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3	2,9	2,8	2,8	2,7
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3	2,9	2,8	2,7	2,7
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,6
16	4,5	3,6	3,2	3	2,9	2,7	2,7	2,6	2,5
17	4,5	3,6	3,2	3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4
21	4,3	3,5	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3
23	4,3	3,4	3	2,8	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3
24	4,3	3,4	3	2,8	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3
25	4,2	3,4	3	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3
26	4,2	3,4	3	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3
27	4,2	3,4	3	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3
28	4,2	3,3	3	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2
29	4,2	3,3	2,9	2,7	2,6	2,4	2,4	2,3	2,2
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2
40	4,1	3,2	2,8	2,6	2,5	2,3	2,3	2,2	2,1
60	4	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	2	2
~	3,8	3	2,6	2,4	2,2	2,1	2	1,9	1,9

Sumber: Soewarno (1995, p.81)

Lanjutan Tabel 2.4  
Nilai Kritis Fc (Derajat Kepercayaan 5%) Distribusi F

dk <sub>2</sub> = V <sub>2</sub>	dk <sub>1</sub> = V <sub>1</sub>									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	~
1	241,9	243,9	245,9	248	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	8,8	8,7	8,7	8,7	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,5
4	6	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,6
5	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4
6	4,1	4	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7
7	3,6	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2
8	3,4	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3	3	3	2,9
9	3,1	3,1	3	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7
10	3	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5
11	2,9	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4
12	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3
13	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2
14	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1
15	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1
16	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2
17	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2	2
18	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2	2	1,9
19	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2	2	1,9	1,9
20	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2	2	2	1,9	1,8
21	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8
22	2,3	2,2	2,2	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8
23	2,3	2,2	2,1	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8
24	2,3	2,2	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1)9	1,7
25	2,2	2,2	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1)7	1,7
26	2,2	2,2	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1)5	1,7
27	2,2	2,1	2,1	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
28	2,2	2,1	2	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1)1	1,7
29	2,2	2,1	2	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1)0	1,6
30	2,2	2,1	2	1,9	1,9	1,8	1,2	1,7	1,7	1,6
40	2,1	2	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5
60	2	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
120	1,9	1,8	1,2	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3
~	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1

Sumber: Soewarno (1995, p.81)

#### **2.4.3.2 Uji Kestabilan Nilai Rata-rata (Uji T)**

Uji t adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol. Uji t pertama kali dikembangkan oleh William Seely Gosset pada 1915. Awalnya ia menggunakan nama samaran *Student*, dan huruf *t* yang terdapat dalam istilah Uji "t" dari huruf terakhir nama beliau. Uji t disebut juga dengan nama *Student t*.

Uji T umumnya digunakan untuk menguji sampel ukuran kecil (jumlah kurang dari 30 buah), seperti menguji rata-rata dua kelompok sampel, menguji nilai rata-rata terhadap rata-rata populasi, menguji data yang berpasangan, menguji koefisien korelasi. Untuk mengetahui dua sampel berada pada populasi yang sama, maka dihitung *t score* dengan rumus (Soewarno, 1995, p.18):

Dengan:

Dengan :

- $\mu_1$  = rerata dari sampel 1  
 $\mu_2$  = rerata dari sampel 2  
 $s_1$  = simpangan baku dari  
 $s_2$  = simpangan baku dari  
 $N_1$  = ukuran dari sampel 1  
 $N_2$  = ukuran dari sampel 2

## Hipotesa:

- $H_0$  : sampel  $x_1$  dan  $x_2$  berasal dari populasi yang sama  
 $H_1$  : sampel  $x_1$  dan  $x_2$  tidak berasal dari populasi yang sama

Nilai  $t < t_{cr}$  maka hipotesa akan diterima. Adapun tabel  $t_{cr}$  dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.5  
Sebaran Nilai T-Student

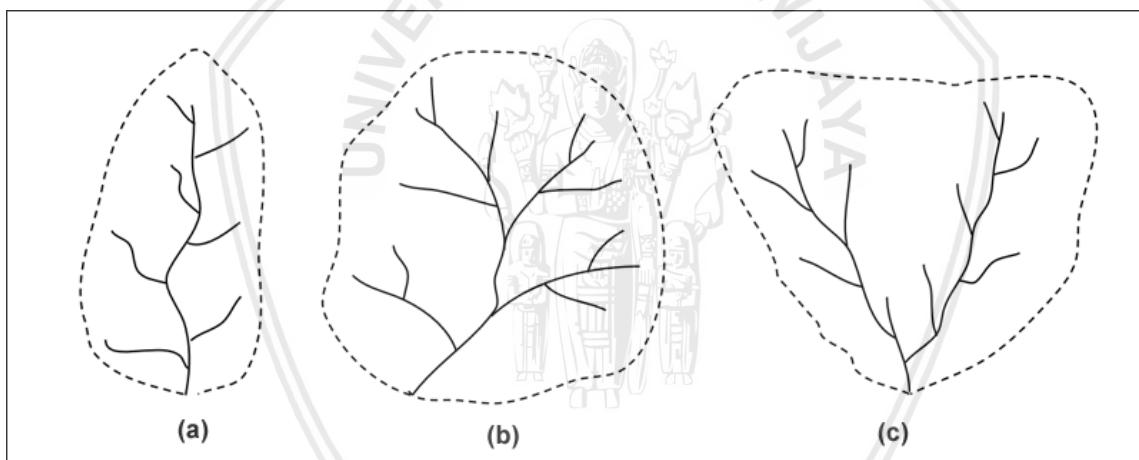
	t										
Y	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6	0,55	
1	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1	0,727	0,325	0,158	
2	9,925	6,965	4,303	2,92	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	
3	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	
4	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	
5	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,92	0,727	0,559	0,267	0,132	
6	3,707	3,143	2,447	1,943	1,44	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	
7	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,13	
8	3,355	2,896	2,306	1,86	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,13	
9	3,25	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	
10	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,26	0,129	
11	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,54	0,26	0,129	
12	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	
13	3,012	2,65	2,16	1,771	1,35	0,87	0,694	0,538	0,259	0,128	
14	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	
15	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	
16	2,921	2,583	2,12	1,746	1,337	0,865	0,69	0,535	0,258	0,128	
17	2,898	2,567	2,11	1,74	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	
18	2,878	2,552	2,101	1,734	1,33	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	
19	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	
20	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,86	0,687	0,533	0,257	0,127	
21	2,831	2,518	2,08	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	
22	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	
23	2,807	2,5	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	
24	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	
25	2,787	2,485	2,06	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	
26	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	
27	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	
28	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,53	0,256	0,127	
29	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,53	0,256	0,127	
30	2,75	2,457	2,042	1,697	1,31	0,854	0,683	0,53	0,256	0,127	
40	2,704	2,423	2,021	1,684	1,303	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126	
60	2,66	2,39	2	1,671	1,296	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126	
120	2,617	2,358	1,98	1,658	1,289	0,845	0,677	0,526	0,254	0,126	

Sumber: Soewarno (1997, p.77)

## 2.5 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Untuk maksud tersebut dapat digunakan peta topografi dengan skala 1:50.000, yang dapat diperoleh dari Direktorat Geologi, Dinas Topografi Angkatan Darat atau instansi lain.

Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. Luas DAS diperkirakan dengan mengukur daerah itu pada peta topografi. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan permukaan sehingga semakin besar pula aliran permukaan atau debit sungai.



*Gambar 2.2 Daerah Aliran Sungai  
Sumber: Sosrsodarsono (2003, p.163)*

### 2.5.1 Karakteristik Sungai dan Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai dibagi menjadi daerah hulu, daerah tengah, daerah hilir. Berikut merupakan penjelasannya:

#### a. Bagian Hulu

Pada bagian hulu DAS, sungai yang berada di sekitar memiliki kemiringan yang besar serta memiliki aliran yang sangat deras dan banyak ditemukan air terjun, akibat kemiringan yang besar terjadi erosi sungai aktif dan mengarah vertikal (mengarah ke dasar sungai). Serta lembah pada sungainya berbentuk V.

b. Bagian Tengah

Pada bagian tengah DAS kemiringan sungai sudah berkurang serta aliran sungai tidak seberapa deras dan jarang dijumpai jeram. Pada bagian tenang DAS erosi sungai agak berkurang dan sudah ada sedimentasi. Serta erosi sungai berjalan secara vertikal dan horizontal, memiliki lembah sungainya berbentuk U.

c. Bagian Hilir

sungai bagian hilir kemiringan sungai sangat landai dan aliran sungai berjalan sangat lamban, erosi sungai sudah tidak ada yang ada sedimentasi. Sedimentasi membentuk daratan banjir dengan tanggul alam serta lembah sungai berbentuk huruf U.

## 2.6 Matlab R2015A

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat. Matlab memungkinkan manipulasi matriks, pengeplotan fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antarmuka pengguna, dan pengantarmukaan dengan program dalam bahasa lainnya. Kelebihan dari Program Matlab yaitu:

1. Mudah dalam memanipulasi struktur matriks dan perhitungan berbagai operasi matriks yang meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, invers dan fungsi matriks lainnya.
2. Menyediakan fasilitas untuk memplot struktur gambar (kekuatan fasilitas grafik tiga dimensi yang sangat memadai).
3. Script program yang dapat diubah sesuai dengan keinginan user.
4. Jumlah *routine-routine powerful* yang berlimpah dan terus berkembang.
5. Kemampuan *interface* (misal dengan bahasa C, word dan *mathematica*).
6. Dilengkapi dengan *toolbox*, *simulink*, *stateflow* dan sebagainya, serta mulai melimpahnya source code di internet yang dibuat dalam Matlab ( contoh *toolbox* misalnya : *signal processing*, *control system*: *neural networks* dan sebagainya).

Dengan banyaknya kelebihan aplikasi Matlab tersebut maka diharapkan dapat memodelkan curah hujan-debit. Matlab R2015A memiliki beberapa bagian komponen kerja utama yaitu:

1. *Command Windows*

Berfungsi sebagai penjalan perintah dimana pada tampilan ini fungsi-fungsi diletakkan, pada *command windows* kita dapat mengakses perintah maupun komponen yang ada di Matlab secara langsung.

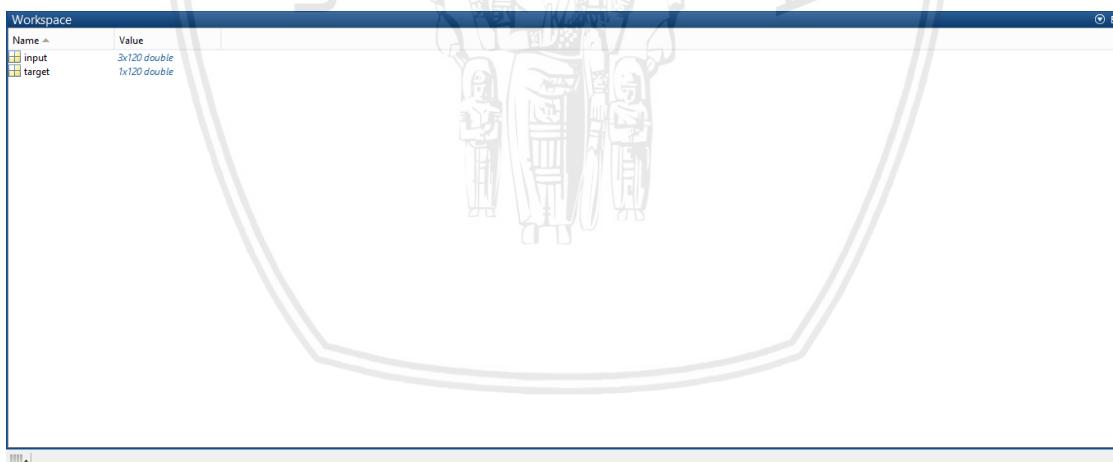


*Gambar 2.3 Command Windows*

Sumber: Matlab R2015A

## 2. Matlab *Workspace*

*Workspace* pada Matlab menyimpan seluruh data variabel yang telah didefinisikan dalam memori komputer. Variabel dapat didefinisikan baik secara langsung maupun hasil dari operasi matematika atau operasi fungsi tertentu. *Workspace* di Matlab akan lebih banyak digunakan ketika menjalankan *script file* untuk melakukan komputasi matematika dan bekerja dengan banyak data.

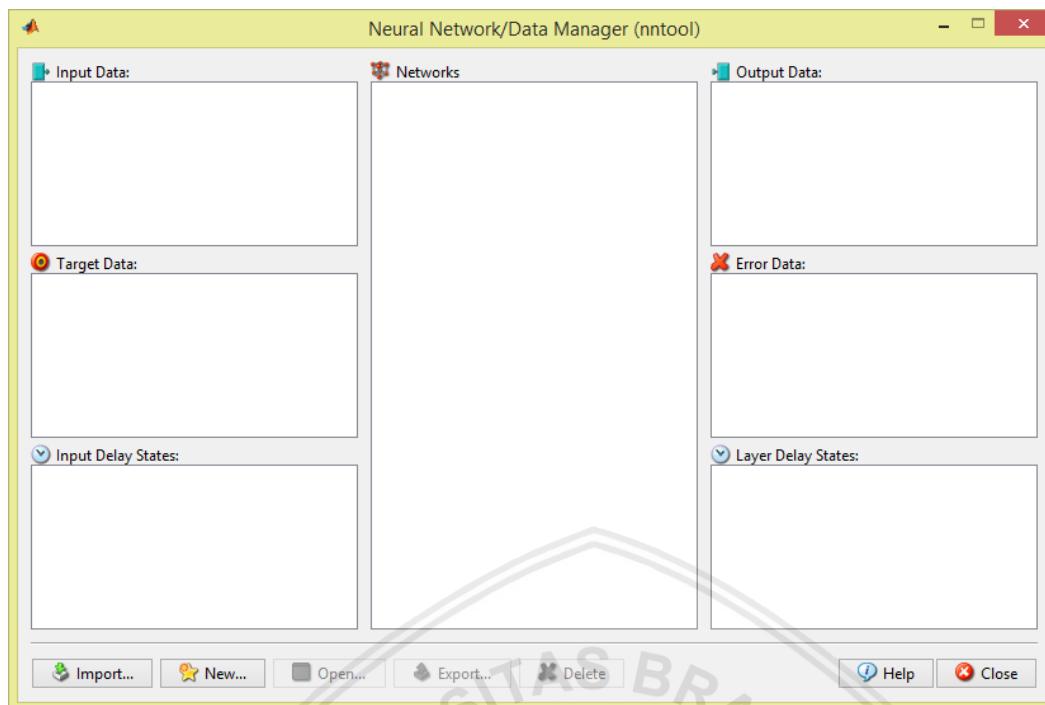


*Gambar 2.4 Workspace*

Sumber: Matlab R2015A

## 3. *Network Data Manager*

*Network Data Manager* (*nntool*) adalah jendela *Network / Data Manager*, yang memungkinkan untuk mengimpor, membuat, menggunakan, dan mengeksport jaringan saraf dan data.



Gambar 2.5 Network Data Manager

Sumber: Matlab R2015A

## 2.7 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau sering disebut dengan *Artifical Neural Network* (ANN) atau *Simulated neural network* (SNN) dibuat pertama kali pada tahun 1943 oleh *neurophysiologist* Waren McCulloch dan Walter Pits. Jaringan Syaraf Tiruan adalah paradigma pemrosesan suatu informasi yang terinspirasi oleh sistem sel syaraf biologi sama seperti otak yang memproses suatu informasi. Elemen mendasar dari paradigma tersebut adalah struktur yang baru dari sistem pernrosesan informasi. Jaringan Syaraf Tiruan seperti manusia, belajar dari suatu contoh. JST dibentuk untuk memecahkan suatu masalah tertentu seperti pengenalan pola atau klasifikasi karena proses Pembelajaran (Siang, 2005:3).

Menurut Kusumadewi (2003, p.2) Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah tiruan di sini digunakan karena dapat diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.

JST bekerja berdasarkan asumsi awal yang diberikan sebagai titik tolak pembanding pada proses selanjutnya. Keberhasilan suatu proses belajar JST ditunjukkan dengan besarnya *error* yang minimum. Proses belajar pada jaringan syaraf tiruan ditunjukkan dengan perubahan bobot penghubung antara sel jarangan syaraf. Implementasi jaringan syaraf tiruan dilakukan dengan menggunakan perangkat keras ataupun komputer (Hermawan, 2006 p.15).

JST memberikan satu alternatif baru untuk menyelesaikan masalah dengan meniru cara kerja otak manusia. JST menyelesaikan masalah dengan cara mempelajari informasi yang diberikan kepadanya. JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa (Siang, 2004:3):

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (*neuron*)
2. Sinyal dikirimkan diantara *neuron-neuron* memalui penghubung
3. Penghubung antar *neuron* memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal
4. Untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlah input yang diterima. Besarnya output selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Jaringan Syaraf Tiruan memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan. Berikut kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh jaringan syaraf tiruan antara lain (Sutojo, 2010, p.7)

1. Belajar *Adaptive* yaitu kemampuan untuk mempelajari bagaimana melakukan pekerjaan berdasarkan data yang debirikan untuk pengalaman dan pelatihan awal.
2. *Self-Organisation* yaitu sebuah Jaringan Syaraf Tiruan dapat mengorganisir sendiri atau reprwesentasi dari informasi yang diterima selama waktu belajar
3. *Real Time Operation* yaitu perhitungan Jaringan Syaraf Tiruan dapat dilakukan secara pararel sehingga perangkat keras yang dirancang dan diproduksi secara khusus dapat mengambil keuntungan dari kemampuan ini.

Kekurangan yang dimiliki oleh Jaringan Syaraf Tiruan adalah sebagai berikut:

1. Kurang efektif untuk melakukan operasi numerik dengan presisi tinggi.
2. Kurang efisien digunakan untuk melakukan operasi algoritma aritmatik, operasi logika, dan simbolis
3. Jaringan Syaraf Tiruan membutuhkan pelatihan tinggi sehingga untuk jumlah data yang banyak maka akan memakan waktu untuk proses pelatihan yang lama.

Setiap pengolahan elemen membuat perhitungan berdasarkan pada jumlah *input*. Sebuah pengolahan elemen disebut *layer*. Lapisan pertama adalah *input* dan yang terakhir adalah *output*. Lapisan diantara lapisan input dan output disebut dengan lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Salah satu organisasi yang sering digunakan dalam paradigma jaringan syaraf tiruan adalah *Backpropagation* yaitu Perambatan Galat Mundur (Hermawan 2006:38).

Aplikasi metode Jaringan Syaraf Tiruan banyak digunakan pada berbagai bidang keilmuan. Beberapa aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan adalah sebagai berikut (Siang, 2005, p.5):

a. Pengenalan pola (*Pattern Recognition*)

Jaringan Syaraf Tiruan dapat dipakai untuk mengenali pola (misalnya huruf, angka, suara, atau tanda tangan) yang sudah sedikit berubah.

b. Prediksi

Jaringan Syaraf Tiruan dapat digunakan untuk memprediksi apa yang terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pola kejadian yang ada di masa lampau mengingat kemampuan Jaringan Syaraf Tiruan untuk mengingat dan membuat generalisasi yang sudah ada sebelumnya

### 2.7.1 Sejarah Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan sederhana pertama kali diperkenalkan oleh McCulloch dan Pitts pada tahun 1943. McCulloch dan Pitts menyimpulkan bahwa kombinasi beberapa neuron sederhana menjadi sebuah sistem neural akan meningkatkan kemampuan komputasinya.

Bobot dalam jaringan yang diusulkan oleh McCulloch dan Pitts memampukan sebuah fungsi logika sederhana. Fungsi aktivasi yang di pakai adalah *threshold*. Tahun 1958 Rosenblatt memperkenalkan dan mulai mengembangkan model jaringan yang disebut *Perceptron*. Metode pelatihan diperkenalkan untuk mengoptimalkan hasil literasinya.

Widrow dan Hoff (1960) mengembangkan *perceptron* dengan memperkenalkan aturan pelatihan jaringan, yang dikenal sebagai aturan delta (atau sering disebut kuadrat rata-rata terkecil). Aturan ini akan mengubah bobot *perceptron* apabila keluaran yang dihasilkan tidak sesuai dengan target yang diinginkan. Hal yang dilakukan peneliti sebelumnya hanya menggunakan jaringan dengan layer tunggal (*single-layer*). Rumelhart (1986) mengembangkan konsep *perceptron* menjadi *Backpropagation*, yang memungkinkan jaringan diproses melalui beberapa layer (*multi-layer*). Selain itu, beberapa model jaringan syaraf tiruan lain juga mulai dikembangkan oleh Kohonen (1972), Hopfield (1982), dll. Memasuki tahun 1990 pengembangan jaringan syaraf tiruan mulai ramai dibicarakan dengan menerapkannya pada aplikasi model-model untuk menyelesaikan berbagai masalah di dunia nyata (Siang, 2004, p.4).

### 2.7.2 Komponen Jaringan Syaraf Tiruan

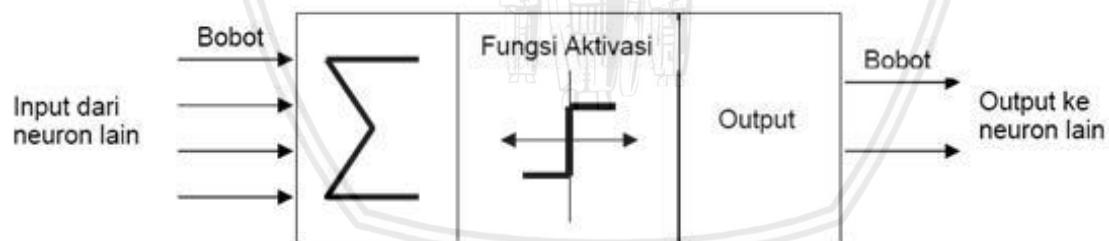
Ada beberapa tipe jaringan syaraf tiruan, namun pada umumnya komponen yang dimiliki hampir semua sama. Ibaratkan otak manusia, jaringan syaraf tiruan juga memiliki neuron, diantara neuron-neuron tersebut saling berhubungan. Neuron tersebut akan menyampaikan informasi yang diterima dan disalurkan melalui neuron yang lain. Pada jaringan syaraf tiruan, hubungan ini disebut dengan bobot, informasi yang disalurkan akan disimpan pada suatu nilai pada bobot tersebut. Pada dasarnya neuron terdiri dari 3 elemen pembentuk:

1. Himpunan unit-unit yang dihubungkan dengan jalur koneksi memiliki bobot/kekuatan yang berbeda-beda. Bobot yang bernilai positif akan memperkuat sinyal dan benilai negatif akan memperlemah sinyal yang dibawanya. Jumlah struktur dan pola hubungan antar unit-unit tersebut akan menentukan arsitektur jaringan (dan juga model jaringan yang terbentuk).
2. Suatu unit penjumlahan yang akan menjumlahkan input-input sinyal yang sudah dikalikan dengan bobotnya. Misalnya  $x_1, x_2, \dots, x_m$  adalah unit-unit input dan  $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm}$  adalah bobot penghubung dari unit-unit tersebut ke unit keluaran  $Y_j$ , maka unit penjumlahan akan memberikan keluaran sebesar  $u_j = x_1w_{j1} + x_2w_{j2} + \dots + x_mw_{jm}$
3. Fungsi aktivasi yang akan menentukan apakah sinyal dari input neuron akan diteruskan ke neuron lain atau tidak.

### 2.7.3 Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan dikembangkan berdasarkan model matematis dengan mengasumsikan (Muis, 2006, p.3):

1. Informasi diproses oleh suatu elemen sederhana yang disebut neuron
2. Sinyal-sinyal dilewatkan antara neuron yang saling berhubungan
3. Setiap sambungan antara dua neuron ada bobotnya masing-masing yang akan mengalikan sinyal yang ditransmisikan
4. Tiap neuron memiliki fungsi aktivasi yang akan menetukan besaran keluaran fungsi



Gambar 2.6 Konsep Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan

Sumber: Kusumadewi (2004, p.49)

#### 2.7.3.1 Cara kerja Jaringan Syaraf Tiruan

Cara kerja dari jaringan staraf tiruan adalah sebagai berikut:

- a. informasi (*input*) akan dikirim neuron dengan bobot kedatangan tertentu
- b. Input ini akan akan diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang
- c. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron
- d. Apabila *input* tersebut melewati nilai suatu ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan

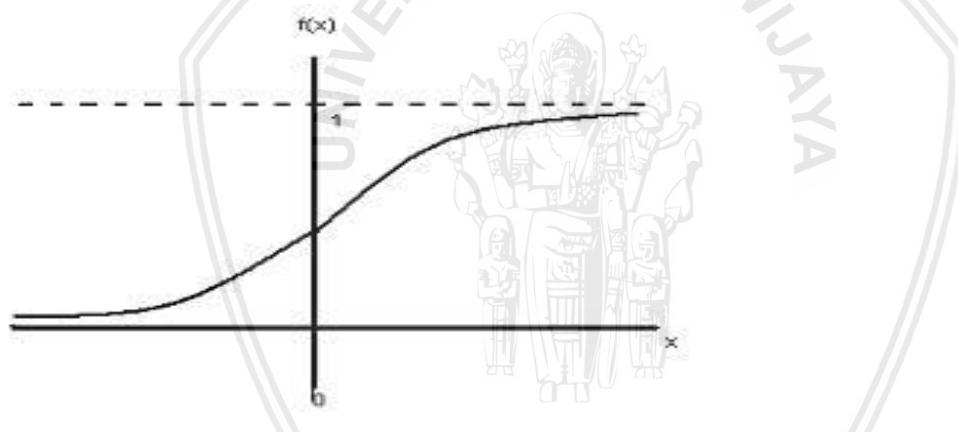
- e. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *output*-nya ke semua neuron yang saling berhubungan

#### 2.7.4 Fungsi Aktivasi

Setiap neuron dalam jaringan syaraf tiruan mempunyai keadaan internal yang disebut dengan level aktivasi atau level aktivitas yang merupakan fungsi *input* yang diterima. Secara tipikal suatu neuron mengirimkan aktivitasnya ke beberapa neuron lain sebagai sinyal, sehingga argumen fungsi aktivasi dipakai untuk menentukan keluaran suatu neuron. Argumen fungsi aktivasi adalah net masukan (kombinasi linier masukan dan bobotnya). Fungsi aktivasi diharapkan dapat mendekati nilai-nilai maksimum dan minimum secara baik. Berikut ini beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan, yaitu:

##### a. Fungsi Sigmoid Biner

Fungsi sigmoid biner digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan menggunakan metode *Backpropagation*. Fungsi ini memiliki *range* 0 sampai dengan 1. Kurva fungsi sigmoid biner sebagai berikut:



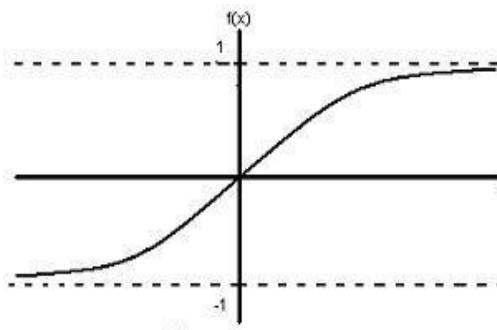
Gambar 2.7 Fungsi Sigmoid Biner  
Sumber: Siang (2005, p.99)

$$Y = 0$$

$$\begin{aligned} &= f(\text{net}) \\ &= \frac{1}{1+e^{-x}} \end{aligned} \quad (2-26)$$

##### b. Fungsi Sigmoid bipolar

Fungsi sigmoid bipolar hampir sama dengan fungsi sigmoid biner, namun yang membedakan *output* dari fungsi sigmoid bipolar memiliki *range* 1 sampai -1. Berikut merupakan kurva fungsi sigmoid bipolar:



Gambar 2.8 Fungsi Sigmoid Bipolar

Sumber: Siang (2005, p.100)

$$Y = 0$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot f(\text{net}) - 1 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{1+e^{-x}} - 1 \end{aligned} \quad (2-27)$$

Dengan net sendiri adalah:

$$\text{net} = \sum_{i=0}^n x_i w_i \quad (2-28)$$

c. Fungsi *Threshold* (batas ambang)

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \geq a \\ 0 & \text{jika } x < a \end{cases} \quad (2-29)$$

Untuk beberapa kasus, fungsi *threshold* yang dibuat tidak berharga 0 atau 1, tetapi berharga sebesar -1 atau 1 (sering disebut *threshold bipolar*):

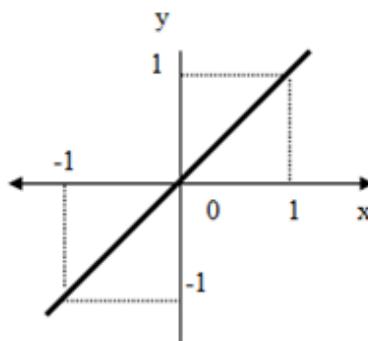
$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \geq a \\ -1 & \text{jika } x < a \end{cases} \quad (2-30)$$

d. Fungsi Identitas

Fungsi identitas atau linier membawa *input* dan *output* yang sebanding. Fungsi identitas sering dipakai apabila, keluaran yang diinginkan berupa bilangan rill sembarang. Bilangan rill bukan hanya pada range (0,1) atau (-1,1).

$$f(x) = x \quad (2-31)$$

Fungsi ini digambarkan sebagai berikut:



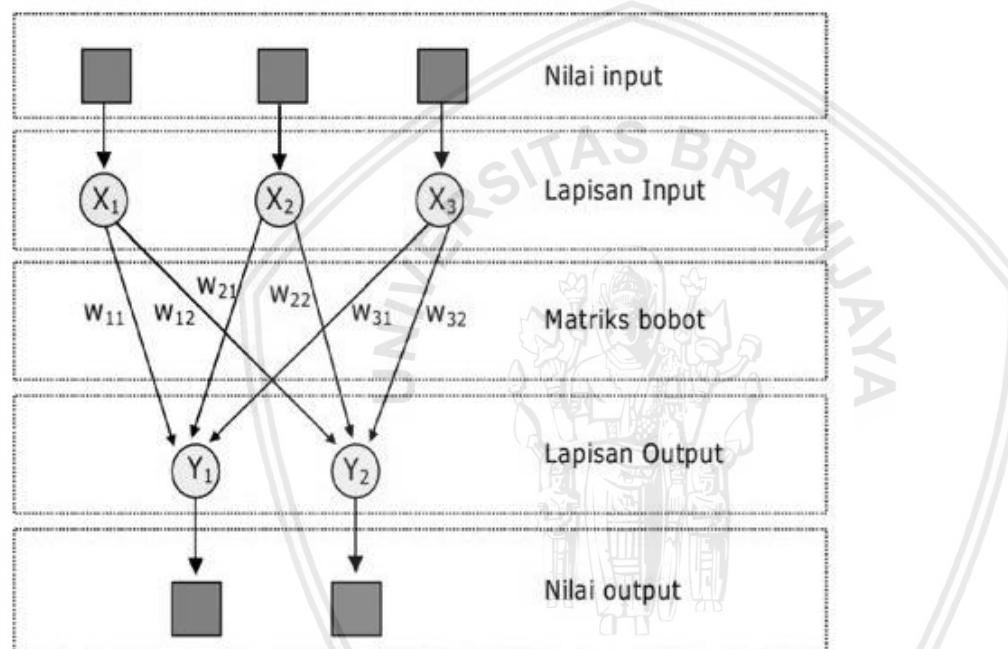
Gambar 2.9 Fungsi Identitas

Sumber: Kusumadewi (2003, p.216)

## 2.7.5 Arsitektur Jaringan

### 2.7.5.1 Jaringan Layar Tunggal (*Single Layer Network*)

Dalam jaringan ini, sekumpulan *input* neuron dihubungkan langsung dengan sekumpulan *output*. Dalam beberapa permodelan (misalnya *perceptron*), hanya ada sebuah unit neuron *output*. Gambar 2.11 menunjukkan arsitektur jaringan dengan n unit *input* ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) dan m unit *output* ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ ). Semua unit *input* dihubungkan dengan semua unit *output*, meskipun dengan bobot yang berbeda-beda. Tidak ada unit *input* yang dihubungkan dengan unit *input* lainnya. Demikian pula dengan unit *output*, besaran  $w_{ji}$  menyatakan hubungan unit ke-i dalam *input* dengan unit ke-j dalam *output* dan selama proses pelatihan bobot-bobot tersebut akan dimodifikasi untuk meningkatkan keakuratan hasil.

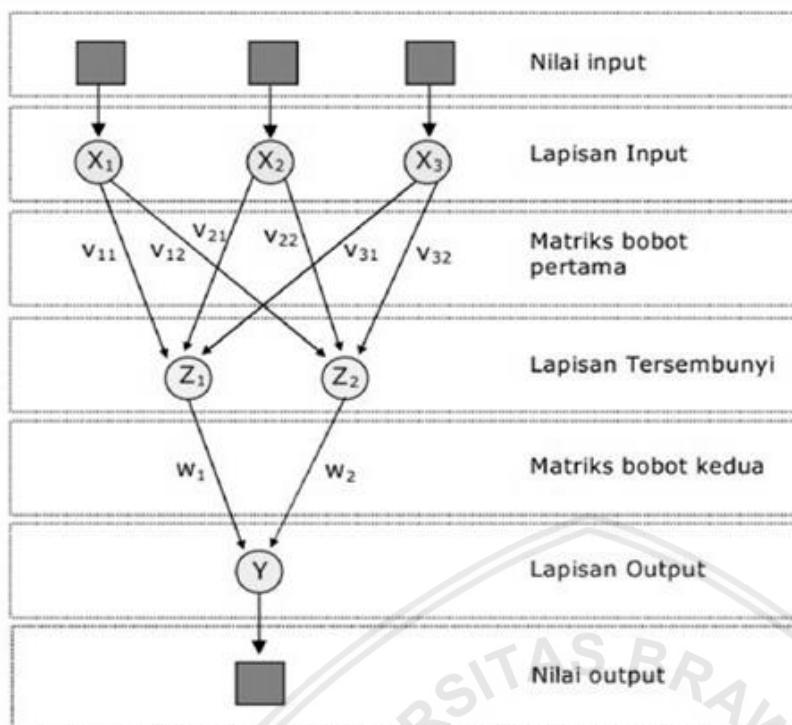


Gambar 2.10 Jaringan Layar Tunggal

Sumber: Hermawan (2006, p.39)

### 2.7.5.2 Jaringan Layar Jamak (*Multilayer Network*)

Jaringan layar jamak merupakan perluasan dari layar tunggal. Dalam jaringan ini, selain unit *input* dan *output*, ada unit-unit lain yang disebut layar tersembunyi (*hidden layer*). Sama seperti pada bagian *input* dan *output*, unit dalam satu layar tidak saling berhubungan. Jaringan layar jamak dapat menyelesaikan masalah yang lebih kompleks jika dibandingkan dengan layar tunggal, meskipun sesekali proses pelatihan lebih kompleks dan lama.



*Gambar 2.11 Jaringan Layar Jamak*  
Sumber: Hermawan (2006, p.40)

### 2.7.5.3 Jaringan Recurrent

Model jaringan recurrent mirip dengan jaringan layar tunggal atupun layar jamak. Namun, pada neuron *output* yang memberikan sinyal pada unit *input* (*feedback loop*)

### 2.7.6 Bias dan *Threshold*

Pada sistem jaringan syaraf tingin terkadang ditambahkan sebuah unit masukan 30 nilainya selalu = 1. Unit tersebut disebut bias. Bias dapat dinilai sebagai *input* yang nilainya = 1. Bias berfungsi untuk mengubah nilai *threshold* menjadi = 0 (bukan = a), jika melibatkan bias maka keluaran unit penjumlahan adalah:

Fungsi aktivasi *threshold* menjadi:

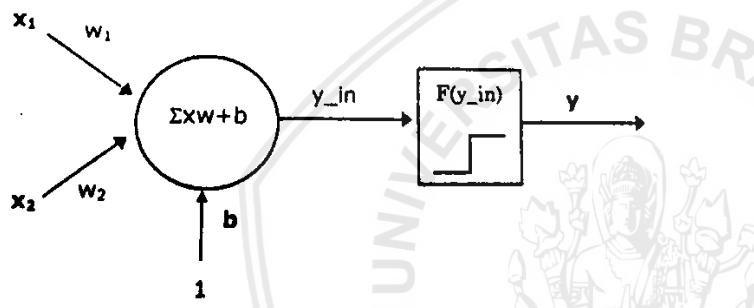
### **2.7.7 Metode Pelatihan**

Berdasarkan cara memodifikasi bobotnya, terdapat dua macam pelatihan yang dikenal yaitu metode pelatihan terawasi (*supervised learning*), dan pelatihan tak terawasi (*unsupervised learning*). Dalam pelatihan supervisi, terdapat sejumlah pasangan data (masukan - target keluaran) yang dipakai untuk melatih jaringan hingga diperoleh bobot yang diinginkan. Pada setiap pelatihan, suatu *input* diberikan ke jaringan.

Dalam studi ini proses pelatihan JST menggunakan proses pelatihan terawasi (*supervised learning*). Dimana dalam proses pelatihan terawasi jaringan akan memproses dan mengeluarkan *output*, selisih antara keluaran jaringan dengan target (keluaran yang diinginkan) merupakan kesalahan yang terjadi. Jaringan akan memodifikasi bobot sesuai dengan kesalahan tersebut. Berikut merupakan metode-metode pelatihan dalam proses pelatihan terawasi:

#### 2.7.7.1 Hebb Rule

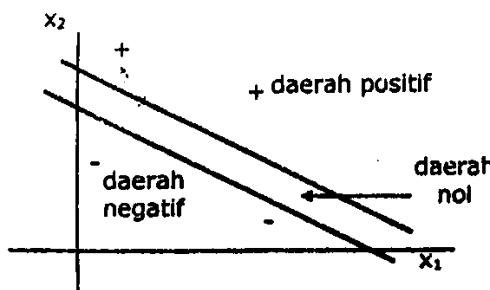
Hebb rule merupakan metode pembelajaran yang paling sederhana. Pada metode Hebb Rule pembelajaran dilakukan dengan cara memperbaiki nilai bobot jaringan sedemikian rupa sehingga jika ada 2 neuron yang terhubung, dan dalam kondisi hidup “on” pada saat yang bersamaan, maka bobot antara keduanya dinaikkan.



Gambar 2.12 Arsitektur Jaringan Hebb Rule  
Sumber: Kusumadewi (2003, p.223)

#### 2.7.7.2 Perceptron

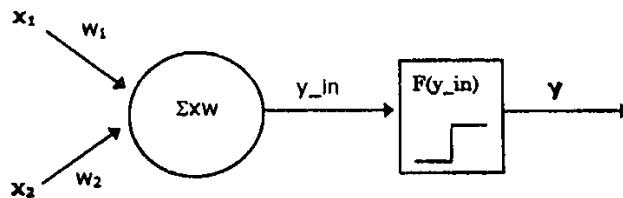
Perceptron adalah salah satu metode pelatihan terawasi yang sederhana. Metode Perceptron biasa digunakan untuk meklasifikasikan suatu tipe pola tertentu yang sering dikenal sebagai pemisahan secara linier. Pada dasarnya, perceptron pada jaringan syaraf dengan satu lapisan memiliki bobot yang dapat diatur dan memiliki suatu nilai ambang (*threshold*). Algoritma yang digunakan oleh metode perceptron akan mengatur parameter bebasnya melalui proses pembelajaran. Fungsi aktifasi metode ini dibuat sedemikian rupa sehingga terjadi pembatasan antara daerah positif dan daerah negatif.



Gambar 2.13 Pembatasan Linear Dengan Perceptron  
Sumber: Kusumadewi (2003, p.224)

### 2.7.7.3 Delta Rule

Pada metode Delta Rule akan mengubah bobot yang menghubungkan antara jaringan input ke unit output ( $y_{in}$ ) dengan nilai target ( $t$ ). Hal ini dilakukan untuk meminimalkan *error* selama pelatihan pola.

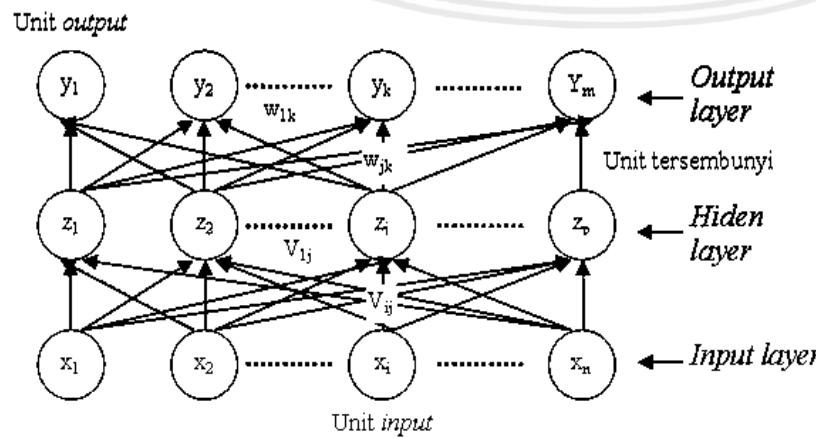


Gambar 2.14 Arsitektur Jaringan Delta Rule

Sumber: Kusumadewi (2003, p.224)

### 2.7.7.4 Backpropagation

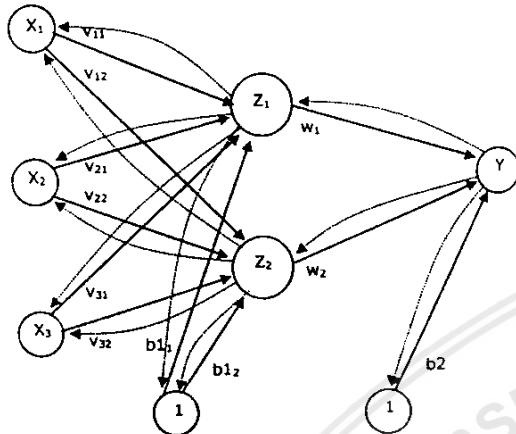
Dalam studi ini metode pelatihan jaringan yang digunakan adalah metode *Backpropagation*. Jaringan perambatan galat mundur (*Backpropagation*) merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang rumit, karena algoritma ini dilatih dengan menggunakan metode belajar terbimbing. Pada jaringan diberikan sepasang pola yang terdiri dari pola masukan dan pola yang diinginkan. Ketika suatu pola diberikan kepada jaringan, bobot-bobot diubah untuk memperkecil perbedaan pola keluaran dan pola yang diinginkan. Pelatihan ini dilakukan berulang-ulang sehingga semua pola yang dikeluarkan jaringan dapat memenuhi pola yang diinginkan. Jaringan perambatan galat mundur terdiri atas tiga lapisan atau lebih unit pengolah, bagian kiri sebagai masukan (*input layer*), bagian tengah disebut sebagai lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan bagian kanan disebut lapisan keluaran (*output layer*). Ketiga lapisan tersebut terhubung secara penuh



Gambar 2.15 Lapisan Jaringan Backpropagation

Sumber: Hermawan (2006, p.50)

Gambar 2.17 menunjukkan arsitektur jaringan *Backpropagation* dimana  $v_{jt}$  merupakan bobot garis dari unit masukan  $x_i$  ke unit layar tersembunyi  $z_j$  ( $v_{j0}$  merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit layar tersembunyi  $z_j$ ). Sedangkan  $w_{kj}$  merupakan bobot dari unit layar tersembunyi  $z_j$  ke unit keluaran  $y_k$  ( $w_{k0}$  merupakan bobot dari bias di lapisan tersembunyi ke unit keluaran  $z_k$ ).



*Gambar 2.16 Arsitektur Backpropagation*

Sumber: Kusumadewi (2004, p.94)

### 2.7.8 Pelatihan *Backpropagation*

Pelatihan *Backpropagation* meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari layar masukan hingga layar keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur.

Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan merupakan kesalahan yang terjadi. Kesalahan tersebut dipropagasi mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layar keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi (Siang, 2004:100). Berikut merupakan penjelasannya:

#### 1. Fase I: Propagasi Maju

Pada fase propagasi maju, sinyal masukan ( $= x_i$ ) dipropagasi ke layar tersembunyi menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Keluaran dari setiap unit layar tersembunyi ( $= z_j$ ) tersebut selanjutnya dipropagasi maju ke lapisan selanjutnya. Demikian seterusnya sampai menghasilkan keluaran jaringan ( $= y_k$ ). Berikutnya, keluaran jaringan ( $= y_k$ ) akan dibandingkan dengan target yang harus dicapai ( $= t_k$ ). Selisih  $t_k - y_k$  adalah kesalahan yang terjadi. Jika kesalahan yang terjadi lebih kecil dari batas toleransi yang ditentukan, maka iterasi dihentikan, namun apabila kesalahan yang terjadi lebih besar dari batas toleransi yang ditentukan, maka bobot setiap garis dalam jaringan akan dimodifikasi untuk mengurangi kesalahan yang terjadi.

## 2. Fase II: Propagasi Mundur

Berdasarkan kesalahan  $t_k - y_k$ , dihitung faktor  $\delta_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) yang dipakai untuk mendistribusikan kesalahan di unit  $y_k$  ke semua unit tersembunyi yang terhubung langsung dengan  $\delta_k$  juga dipakai untuk mengubah bobot garis yang berhubungan langsung dengan unit keluaran dengan cara yang sama, dihitung  $\delta_k$  di setiap unit di layar tersembunyi sebagai bobot semua garis yang berasal dari unit tersembunyi di layar bawahnya. Demikian seterusnya hingga semua faktor  $\delta$  di unit tersembunyi yang berhubungan dengan unit masukan dihitung.

### 3. Fase III: Perubahan Bobot

Setelah semua faktor  $\delta$  dihitung, bobot semua garis dimodifikasi bersamaan. Perubahan bobot suatu garis didasarkan atas faktor  $\delta$  neuron di layar atasnya. Ketiga fase tersebut diulang-ulang terus hingga kondisi penghentian dipenuhi. Umumnya kondisi penghentian yang sering dipakai adalah jumlah iterasi atau kesalahan. Iterasi akan dihentikan jika jumlah iterasi yang dilakukan sudah melebihi jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan, atau jika kesalahan yang terjadi sudah lebih kecil dari batas toleransi yang diijinkan. Logaritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layar tersembunyi adalah sebagai berikut:

- a. Inisialisasi bobot (dengan nilai acak yang cukup kecil)
  - b. Tetapkan: Epoch = 0, MSE = 1

## Fase I: Propagasi maju

- c. Tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi di atasnya.
  - d. Hitung semua keluaran di unit tersembunyi  $z_j(j = 1,2,\dots,p)$

$$z_{netj} = v_{j0} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ji} \dots \quad (2-34)$$

- e. Hitung semua keluaran jaringan di unit  $y_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ )

### Fase II: Propagasi mundur

- f. Hitung faktor  $\delta$  unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran  $y_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ )

$\delta_k$  merupakan unit kesalahan yang akan dipakai dalam perubahan bobot layar dibawahnya (langkah “g”).

hitung suku perubahan bobot  $w_{kj}$  (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot  $w_{kj}$ ) dengan laju percepatan  $\alpha$ .(k = 1,2,...,m; j = 0,1,...,p)

- g. Hitung faktor  $\delta$  unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi  $z_j$  ( $j=1,2,\dots,p$ )

Faktor  $\delta$  unit tersembunyi:

$$\delta_i = \delta_{\text{net}_i} f'(z_{\text{net}_i}) = \delta_{\text{net}_i} z_i (1 - z_i) \dots \quad (2-41)$$

Hitung suku perubahan bobot  $v_{ji}$  (yang akan dipakai untuk merubah bobot  $v_{ji}$ ).

(j = 1,2,...,p; i = 0,1,...,n)

$$\Delta w v_{ji} = \alpha \delta_j z_i \dots \quad (2-42)$$

### Fase III: perubahan bobot

- h. Hitung semua perubahan bobot

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran: ( $k = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 0, 1, \dots, p$ )

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit tersembunyi: ( $j = 1, 2, \dots, p$ ;  $i = 0, 1, \dots, n$ )

Setelah pelatihan selesai dilakukan, jaringan dapat dipakai untuk pengenalan pola. Dalam hal ini, hanya propagasi maju (langkah “d” dan “e”) saja yang dipakai untuk menentukan keluaran jaringan. Apabila fungsi aktivasi yang dipakai bukan sigmoid biner, maka langkah “d” dan “e” harus disesuaikan. Demikian pula pada turunannya pada langkah “g” dan “h”.

#### 2.7.8.1 Optimasi Arsitektur *Backpropagation*

Masalah utama yang dihadapi dalam *Backpropagation* adalah lamanya iterasi yang harus dilakukan. *Backpropagation* tidak dapat memberi kepastian tentang berapa *epoch* yang harus dilalui untuk mencapai kondisi yang diinginkan. Oleh karena itu parameter-parameter jaringan dicoba-coba untuk menghasilkan jumlah iterasi yang relatif lebih sedikit.

### 2.7.8.2 Pemilihan Bobot dan Bias Awal

Bobot awal akan mempengaruhi apakah jaringan mencapai titik minimum lokal atau global, dan seberapa cepat konvergensinya. Bobot yang menghasilkan nilai turunan aktivasi yang kecil sedapat mungkin dihindari karena akan menyebabkan perubahan bobotnya menjadi sangat kecil. Demikian pula nilai bobot awal tidak boleh terlalu besar

karena nilai turunan fungsi aktivasinya menjadi sangat kecil juga. Oleh karena itu dalam standar *Backpropagation*, bobot dan bias diisi dengan bilangan acak kecil.

Nguyen dan Widrow (1990 dalam Siang 2004:104) mengusulkan cara membuat inisialisasi bobot dan bias ke unit tersembunyi sehingga menghasilkan iterasi lebih cepat. Misal:  $n = \text{jumlah unit masukan}$

$$P = \text{jumlah unit tersembunyi}$$

$$\beta = \text{faktor skala} = 0,7^n \sqrt{p}$$

algoritma inisialisasi Nguyen Widrow adalah sebagai berikut:

- Inisialisasi semua bobot ( $v_{ji}$  (lama)) dengan bilangan acak alam interval
- Hitung  $|v_j| = \sqrt{V^2 j_1 + V^2 j_2 + \dots + V^2 j_n}$  .....(2-45)
- Bobot yang dipakai sebagai inisialisasi  $= v_{ji} = \frac{\beta v_{ji}(\text{lama})}{\|v_j\|}$  .....(2-46)
- Bias yang dipakai sebagai inisialisasi  $= v_{j0} = \text{bilangan acak antara } -\beta \text{ dan } \beta$

#### **2.7.8.3 Jumlah Unit Tersembunyi (*Hidden Layer*)**

Hasil teoritis yang dapat menunjukkan bahwa jaringan dengan layar tersembunyi sudah cukup bagi *Backpropagation* untuk mengenali korelasi antara masukan dan target dengan tingkat ketelitian yang ditentukan. Akan tetapi penambahan jumlah lapisan tersembunyi terkadang membuat pelatihan lebih mudah.

Jika jaringan memiliki lebih dari satu layar tersembunyi, maka algoritma pelatihan yang dijabarkan sebelumnya perlu direvisi. Dalam propagasi maju, keluaran harus dihitung untuk tiap layar, dimulai dari layar tersembunyi paling bawah (terdekat dengan masukan). Sebaliknya, dalam propagasi mundur, faktor "P" perlu dihitung untuk setiap layar tersembunyi, dimulai dari layar keluaran (Siang, 2004, p.111).

#### **2.7.8.4 Jumlah Pola Penelitian**

Tidak ada kepastian tentang berapa banyak pola yang diperlukan agar jaringan dapat dilatih dengan sempurna. Jumlah pola yang dibutuhkan dipengaruhi oleh banyaknya bobot dalam jaringan serta tingkat akurasi yang diharapkan. Aturan kasarnya dapat ditentukan berdasarkan rumus(Siang, 2004, p.111):

$$\text{Jumlah pola} = \text{jumlah bobot} / \text{tingkat akurasi} .....(2-47)$$

Untuk jaringan dengan 80 bobot dan tingkat akurasi 0,1 maka 800 pola misalkan diharapkan akan mampu mengenali dengan benar 90% pola diantaranya.

#### **2.7.8.5 Lama Iterasi**

Tujuan utama penggunaan *Backpropagation* adalah mendapatkan keseimbangan antara pengenalan pola pelatihan secara benar dan respon yang baik untuk pola lain yang sejenis (data pengujian). Jaringan dapat dilatih terus menerus hingga semua pola pelatihan dikenali

dengan benar. Akan tetapi hal itu tidak menjamin jaringan akan mampumengenali pola pengujian yang tepat. Jadi tidaklah bermanfaat unuk menerusakan iterasi hingga semua kesalahan pola pelatihan = 0.

Umumnya data dibagi menjadi dua bagian yaitu pola data yang dipakai sebagai pelatihan dan data yang digunakan untuk pengujian. Perubahan bobot dilakukan berdasarkan pola pelatihan, selama pelatihan (misal setiap 10 *epoch*), kesalahan yang terjadi dihitung berdasarkan semua data (pelatihan dan pengujian). Selama kesalahan ini menurun, pelatihan terus dijalankan. Akan tetapi jika kesalahannya sudah meningkat, pelatihan tidak ada gunanya lagi untuk diteruskan. “Jaringan sudah mulai mengambil sifat yang hanya dimiliki secara spesifik oleh data pelatihan (tetapi tidak dimiliki oleh data pengujian) dan sudah mulai kehilangan kemampuan melakukan generalisasi” (Siang, 2004, p.112).

#### **2.7.8.6 Variasi *Backpropagation***

Disamping model standar *Backpropagation*, saat ini telah berkembang variasinya. Variasi tersebut dapat berupa “model *Backpropagation* yang digunakan untuk keperluan khusus, atau teknik modifikasi bobot untuk mempercepat pelatihan dalam kasus tertentu” (Siang, 2004, p.112):

### 1. Pola Sebelumnya (Momentum)

Pada standar *Backpropagation*, perubahan bobot didasarkan atas gradien yang terjadi untuk pola yang dimasukan saat itu. Modifikasi yang dapat dilakukan adalah melakukan perubahan bobot yang didasarkan atas arah gradien pola terakhir dan pola sebelumnya (momentum) yang telah dimasukan. Penambahan momentum dimaksudkan untuk menghindari perubahan bobot yang mencolok akibat adanya data yang sangat berbeda dengan yang lain (*outlier*). Apabila beberapa data terakhir yang diberikan ke jaringan memiliki pola serupa (berarti arah gradien sudah benar), maka perubahan bobot dilakukan secara cepat. Namun apabila data terakhir yang dimasukan memiliki pola yang berbeda dengan pola sebelumnya, maka perubahan dilakukan secara lambat. Dengan penambahan momentum, bobot baru pada waktu ke  $(t + 1)$  didasarkan atas bobot pada waktu  $t$  dan  $(t - 1)$ . Disini harus ditambahkan 2 variabel baru yang mencatat besarnya momentum untuk 2 iterasi terakhir. Jika  $\mu$  dan konstanta  $(0 < \mu < 1)$  yang menyatakan parameter momentum maka bobot baru dihitung berdasarkan persamaan:

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \alpha \delta_k Z_j + \mu (w_{kj}(t) - w_{kj}(t-1)) \dots \quad (2-48)$$

$$v_{ji}(t+1) = v_{ji}(t) + \alpha \delta_j Z_i + \mu (v_{ji}(t) - v_{ji}(t+1)) \dots \quad (2-49)$$

## 2. Laju Pemahaman Jaringan

Dalam standar *Backpropagation*, laju pemahaman ( $\alpha$ ) merupakan konstanta yang digunakan dalam seluruh iterasinya. Perubahan dapat dilakukan dengan memberikan laju Pemahaman yang berbeda-beda untuk setiap bobotnya (atau bahkan laju pemahaman yang berbeda-beda untuk tiap bobotnya dalam tiap iterasinya) Apabila perubahan bobot berada dalam arah yang sama dalam beberapa pola terakhir (dapat dilihat dari tanda suku  $\delta_k Z_j$  yang selalu sama), maka laju pemahaman yang bersesuaian dengan bobot  $w_{kj}$  ditambah. Sebaliknya apabila arah perubahan bobot dua pola terakhir berbeda (ditandai dengan suku  $\delta_k Z_j$  yang berselang-seling positif-negatif) maka laju pemahaman untuk bobot tersebut harus dikurangi. Perubahan bobot dalam aturan deltabar-delta adalah sebagai berikut:

### 3. Perubahan Bobot Perkelompok

Variasi lain yang dapat dilakukan pada standar *Backpropagation* adalah merubah bobotnya sekaligus setelah semua pola dimasukkan. Untuk tiap pola yang dimasukkan, dilakukan langkah “d” – “g” standar *Backpropagation*. Nilai  $\Delta w_{kj}$  dan  $\Delta v_{ji}$  untuk tiap pola dijumlahkan. Langkah “h” (perhitungan bobot baru) dilakukan berdasarkan hasil jumlah  $\Delta w_{kj}$  dan  $\Delta v_{ji}$  tersebut. Langkah kerja “b” memberi efek yang lebih halus dalam perubahan bobot. Dalam beberapa kasus, variasi perubahan ini akan meningkatkan kemungkinan konvergensi ke titik minimum lokal.

#### 2.7.8.7 Aplikasi *Backpropagation* dalam Pemodelan

Dengan *Backpropagation*, record data dipakai sebagai data pelatihan untuk mencari bobot yang optimal. Untuk itu kita perlu menetapkan besarnya periode dimana data berfluktuasi. Periode ini kita tentukan secara intuitif. Bagian tersulit adalah menentukan jumlah layar. Secara praktis dicoba jaringan yang kecil terlebih dahulu (misal terdiri dari satu layar tersembunyi dengan beberapa unit saja), maka jaringan diperbesar dengan menambahkan unit tersembunyi atau bahkan menambah layar tersembunyi. Jumlah data dalam satu periode ini dipakai sebagai jumlah masukan dalam *Backpropagation*. Sebagai targetnya diambil data bulan pertama setelah periode berakhir. “Pada data periode satu tahun, maka masukan *Backpropagation* yang dipakai terdiri dari 12 masukan, dan keluaran adalah satu unit” (Siang, 2004:119). Bagian tersulit adalah menentukan jumlah layar (dan unitnya). Tidak ada teori yang dengan pasti dapat dipakai. “Tetapi secara praktis dicoba jaringan yang kecil terlebih dahulu (misal terdiri dari satu layar tersembunyi dengan

beberapa unit saja), maka jaringan diperbesar dengan menambahkan unit tersembunyi atau bahkan menambah layar tersembunyi” (Hermawan, 2006, p.160)

### 2.7.9 Parameter Jaringan Syaraf Tiruan

Terdapat beberapa parameter-parameter yang digunakan sebagai batas kesalahan dalam kontrol ukuran si aktivasi d mclakukan pembelajaran, batas minimum dari sebuah fungsi pada bobot. Parameter yang digunakan pada metode JST adalah sebagai berikut:

### 1. Maksimum epoch

Epoch merupakan perulangan atau iterasi dari proses yang dilakukan untuk mencapai target yang telah ditentukan. Maksimum *epoch* adalah jumlah *epoch* maksimum yang boleh dilakukan selama proses pelatihan. Iterasi akan dihentikan apabila nilai melebihi maksimum *epoch*.

## 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* akan berimplikasi pada semakin besarnya langkah pembelajaran. Jika nilai *learning rate* yang diatur terlalu besar maka algoritma akan menjadi tidak stabil. Sebaliknya jika nilai *learning rate* yang diatur terlalu kecil maka algorinna akan mencapai target dalam jangka waktu yang lama.

### 3. Perhitungan *error*

Perhitungan error bertujuan untuk mengukur keakurasian jaringan dalam mengenali pola yang diberikan. Ada dua macam perhitungan error yang digunakan, yaitu:

a. *Mean Square Error* (MSE)

MSE merupakan error rata-rata kuadrat dari selisih antara *output* jaringan dengan *output* target. Bertujuan untuk memperoleh nilai *error* sekecil-kecilnya secara *iterative* dengan mengubah nilai bobot yang terhubung pada semua neuron dalam jaringan. Agar mengetahui seberapa banyak bobot yang diubah, setiap literasi memerlukan perhitungan *error* yang berasosiasi dengan setiap neuron pada *output* dan *hidden layer*. Nilai MSE yang baik mendekati 0 ( $\text{MSE} \approx 0$ ). Rumus perhitungan MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_o - Q_m)^2 \quad \dots \quad (2-51)$$

b. *Mean Absolute Error (MAE)*

MAE merupakan perhitungan *error* hasil *absolute* dari selisih antara nilai hasil sistem dengan nilai aktual. Nilai MAE yang baik adalah mendekati 0 ( $MAE \approx 0$ ). Rumus perhitungan MAE adalah sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_o - Q_m| \quad \dots \dots \dots \quad (2-52)$$

#### 4. Kesalahan Relatif (KR)

Perhitungan kesalahan relatif adalah perhitungan *absolute* dari *output* jaringan dan *output* target dibagi *output* target yang telah dirata-ratakan. Perhitungan ini bertujuan untuk membuktikan bahwa hasil *output* jaringan dan *output* target mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda. Interval keakuratan dari hasil peramalan yang dilakukan umumnya adalah 95%, sehingga taraf kesalahan yang diijinkan adalah 5%. Rumus perhitungan kesalahan relatif adalah sebagai berikut:

Dengan:

$Q_o$  = Debit target ( $m^3/det$ )

$Q_m$  = Debit Pemodelan ( $m^3/det$ )

## 5. Koefisien Korelasi (R)

Analisis korelasi merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Tujuan analisis ini ialah untuk mendapatkan pola dan hubungan antara dua variabel atau lebih. Berikut rumus persamaan koefisien korelasi:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N Q_o Q_m - \sum_{i=1}^N Q_o \sum_{i=1}^N Q_m}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_o^2 - (\sum_{i=1}^N Q_o)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_m^2 - (\sum_{i=1}^N Q_m)^2}} \quad (2-54)$$

Dengan:

$Q_0$  = Debit target ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$Q_m$  = Debit pemodelan ( $m^3/det$ )

N = jumlah data

Nilai koefisien korelasi memiliki range antara  $-\infty$  sampai 1. Koefisien korelasi memiliki beberapa kriteria sebagai berikut:

Tabel 2.6 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai R	Interpretasi
0 - 0,19	Sangat Rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,8 – 1	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono (2003, p.216)

## 6. Efisiensi *Nash-Sutcliffe* (NSE)

Dalam jaringan syaraf tiruan, salah satu indikator statistik dalam penentuan keandalan model adalah  $R^2$ . Karena indikator tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja

model dalam hal membandingkan antara debit model dengan data target. Berikut persamaan R<sup>2</sup> (Suprayogi, 2013, p.139):

Dengan:

$Q_0$  = Debit target ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$Q_m$  = Debit pemodelan ( $m^3/det$ )

Nilai NSE memiliki range antara  $-\infty$  sampai 1. NSE memiliki beberapa kriteria sebagai berikut:

Tabel 2.7 Kriteria Nilai NSE

Nilai NSE	Interpretasi
$\text{NSE} > 0,75$	baik
$0,36 < \text{NSE} < 0,75$	Memenuhi
$\text{NSE} < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber: Suprayogi (2013, p.179)

### 2.7.10 Membuat Jaringan Syaraf Tiruan Metode *Backpropagation* Menggunakan Matlab

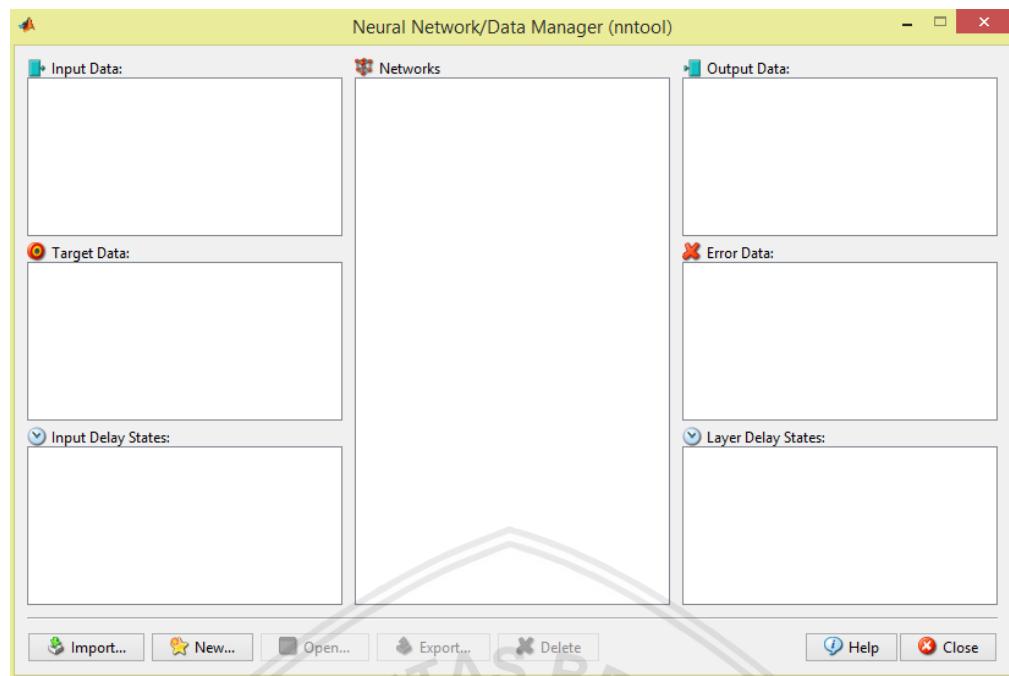
Banyak algoritma pelatihan yang tersedia pada aplikasi Matlab, pada studi ini menggunakan metode pelatihan *Backpropagation*. Berikut langkah-langkah dalam membangun Jaringan Syaraf Tiruan dengan metode Backpropagation menggunakan Matlab:

1. Masukan variabel *input* dan *target* kedalam jendela *workspace*, pada metode pelatihan *backpropagation* variabel *input* akan digunakan sebagai data pelatihan sedangkan target digunakan sebagai pembanding dengan *output* dari hasil pelatihan

Name	Value
input	<i>4x72 double</i>
target	<i>1x72 double</i>

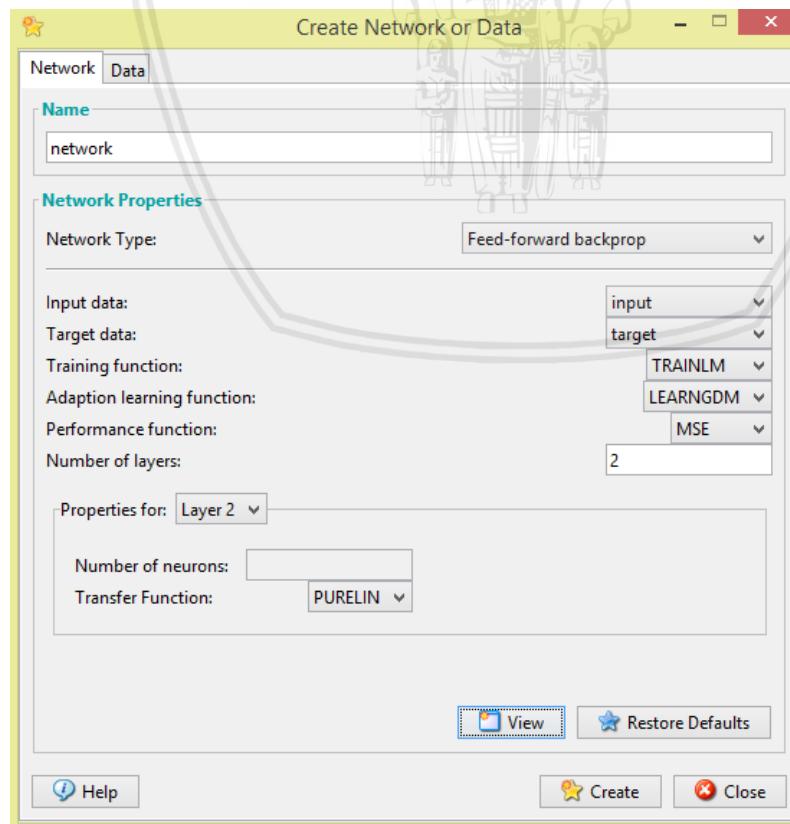
*Gambar 2.17 Variabel Input dan Target Pada Jendela Workspace*  
Sumber: Matlab R2015A

2. Selanjutnya masukan Variabel input dan target ke dalam *Network Data Manager*



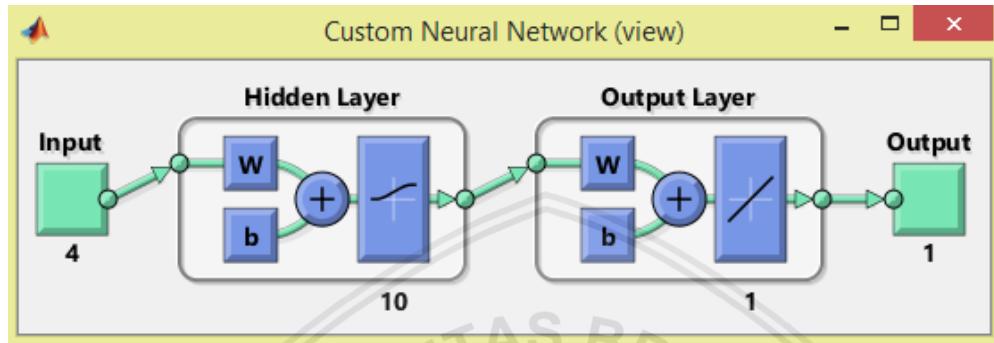
*Gambar 2.18 Jendela Network Data Manager  
Sumber: Matlab R2015A*

3. Selanjutnya pembuatan jaringan, untuk membuat jaringan arsitektur klik *new* pada jendela *Network Data Manager* kemudian kotak jendela *Create Network or Data* akan muncul



*Gambar 2.19 Jendela Create Network or Data  
Sumber: Matlab R2015A*

untuk metode pelatihan backpropagation pilih *Feed-forward backpropagation*, pada skripsi ini *training function* yang digunakan adalah TRAINLM, *adaptation learning function* menggunakan LEARNGDM, *performance function* menggunakan MSE, untuk fungsi aktivasi pada hidden layer menggunakan *transfer function* LOGSIG yaitu fungsi aktivasi sigmoid biner karena pada data *input* dan data *output* merupakan jenis data kontinu, berikut merupakan tampilan jaringan arsitektur yang telah dibuat



Gambar 2.20 Jaringan Arsitektur Pada Aplikasi Matlab  
Sumber: Matlab R2015A

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Daerah Studi

Provinsi Kalimantan Tengah, dengan ibukota Palangka Raya terletak antara  $0^{\circ}45'$  Lintang Utara,  $3^{\circ}30'$  Lintang Selatan dan  $111^{\circ}-116^{\circ}$  Bujur Timur. Provinsi Kalimantan Tengah memiliki luas wilayah mencapai  $153.564 \text{ km}^2$ .

Provinsi Kalimantan Tengah memiliki 11 (sebelas) sungai besar dan tidak kurang dari 33 (tiga puluh tiga) sungai kecil/anak sungai, keberadaannya menjadi salah satu ciri khas Provinsi Kalimantan Tengah.

Lokasi studi yang digunakan adalah DAS Kahayan, yang berada di Provinsi Kalimantan Tengah. Sungai Kahayan bermuara di 3 kabupaten/kota antara Kota Palangkaraya, Kabupaten Gunung Mas, dan Kabupaten Pulang Pisau dan juga berakhir bermuara di Laut Jawa. Sungai Kahayan memiliki luas mencapai  $81,648 \text{ km}^2$ , panjang 600 km, lebar 500 m, kedalamanya mencapai 7 m

##### 3.1.1 Kondisi Iklim

Iklim di provinsi kalimantan tengah adalah daerah yang beriklim tropis. Wilayah Kalimantan Tengah rata-rata mendapat penyinaran matahari sekitar 60% per tahun. Udara pada siang hari mencapai  $34^{\circ}\text{C}$  dan malam hari sekitar  $23^{\circ}\text{C}$

##### 3.1.2 Kondisi Topografi dan Wilayah

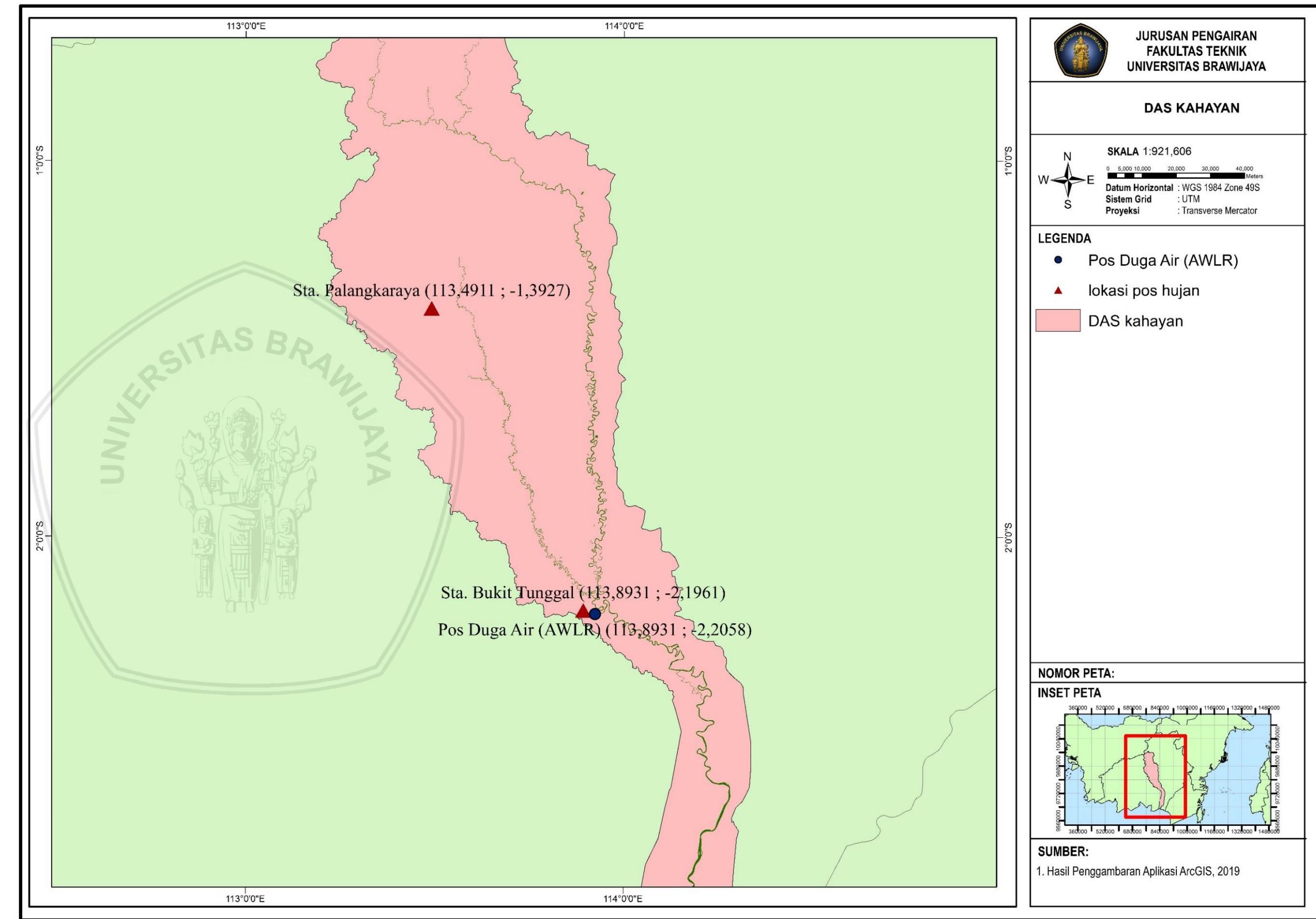
Keadaan fisik Kalimantan Tengah dicirikan dengan adanya topografi bergunung didaerah utara dan semakin datar ke arah selatan, dimana pada daerah tersebut banyak terdapat rawa-rawa. Sebagian besar wilayah Provinsi Kalimantan Tengah merupakan dataran rendah, ketinggiannya berkisar antara 0 – 150 meter dengan kemiringan 0% - 8%. Daerah seperti pantai dan rawa terdapat di wilayah Selatan serta dataran dan perbukitan berada di wilayah bagian tengah dan pegunungan berada di bagian utara dan barat daya, dimana terbentang pegunungan Muller dan Pegunungan Scwanner dengan puncak tertingginya mencapai 2.278 meter dari permukaan laut

#### 3.2 Data-data yang Diperlukan

Dalam penyusunan studi ini diperlukan data-data yang mendukung baik itu data sekunder maupun data primer. Yang dimaksud data sekunder adalah data yang didapat dari suatu instansi-instansi terkait dan pernah dilakukan pengukuran, sedangkan data primer diperoleh berdasarkan pengukuran langsung dilapangan.

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

1. Peta Lokasi Studi Daerah Aliran Sungai (DAS) kahayan, peta lokasi studi diperoleh dengan mengakses *maps.google.com* dan foto lokasi studi diperoleh dari dokumentasi penulis dan peta ini berfungsi untuk mengetahui lokasi yang akan digunakan sebagai daerah dalam studi ini.
2. Data hujan harian yang digunakan selama 10 tahun, mulai dari tahun 2008-2017 yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Kalimantan II, Pelaksanaan Jaringan Sumber Air. Data hujan yang digunakan menjadi data pokok dalam studi perhitungan ANN.
3. Data AWLR yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Kalimantan II, Pelaksanaan Jaringan Sumber Air. Data AWLR digunakan sebagai pembanding dengan hasil perhitungan dan *Artificial Neural Network (ANN)*.
4. Data klimatologi yang digunakan selama 10 tahun, mulai dari tahun 2008-2017 yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Tjilik Riwut. Data klimatologi diolah menjadi data Evapotanspirasi dan digunakan menjadi data input dalam studi perhitungan ANN.



Gambar 3.1 Lokasi Daerah Studi

Sumber: Hasil Penggambaran Aplikasi Arcgis, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



### 3.3 Prosedur Pengolahan Data

Prosedur pengolahan data terbagi atas 3 bagian, bagian pertama pengolahan data input berupa analisa data curah hujan, yang kedua pengolahan data menggunakan pemodelan menggunakan perangkat lunak matlab R2015A, dan yang terakhir data hasil pemodelan akan dihitung nilai penyimpangannya. Pengolahan data dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut:

Tabel 3.1

#### Prosedur Pengolahan Data

---

##### Pengolahan Data Input

---

1. Data klimatologi (suhu rata rata, lama penyinaran, kecepatan angin, kelembaban relatif) tahun 2008-2017
    - perhitungan Evapotranspirasi menggunakan metode Penman
  2. Data curah hujan rerata bulanan tahun 2008-2017
    - Data curah hujan rerata daerah menggunakan metode Aljabar
    - Uji ketiadaan trend
    - Uji stasioner
- 

##### Pemodelan Debit JST Menggunakan Program Matlab R2015A

---

1. Pembagian data (*load data*)
    - Data input bulanan tahun 2008-2017
    - Data sampel bulanan tahun 2014-2017
    - Data target harian tahun 2008-2017 (debit stasiun AWLR Pos Duga Air Palangkaraya)
  2. Perancangan jaringan arsitektur
    - Metode pembelajaran terawasi (*backpropagation*)
    - *Training function* menggunakan TRAINLM
    - *Adaptation learning function* menggunakan LEARNGDM
    - *Performance function* menggunakan MSE
    - Jumlah *hidden layer* dicoba sebanyak 1 dan 2 *Hidden Layer*
    - Jumlah neuron pada *Hidden Layer* sebanyak 2
    - Fungsi aktivasi *Hidden layer* menggunakan sigmoid biner (LOGSIG)
    - Fungsi aktivasi *Output Layer* menggunakan linier (PURELIN)
    - perumusan dalam bentuk tan, metode *output error* MSE dalam bentuk R
- 

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Lanjutan Tabel 3.1  
Prosedur Pengolahan Data

---

**Pemodelan Debit JST Menggunakan Program Matlab R2015A**

---

3. Proses pelatihan (*training*)

- Jumlah literasi (*Epoch*) dicoba sebesar 500, 1000, 1500, 2000
- Jumlah *max\_fail* dicoba sebesar 500, 1000, 1500, 2000

Hasil pelatihan (*training*), *testing*, validasi dan digrafikkan dalam bentuk regresi (R)

4. Proses prediksi simulasi model pada data sampel tahun 2014-2017

---

**Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Hasil Model**

---

1. Kesalahan Relatif (KR)

2. *Mean Square Error* (MSE)

3. *Mean Absolute Error* (MAE)

4. *Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient* (NSE)

5. Koefisien Korelasi (R)

---

**Pemodelan debit tahun 2018**

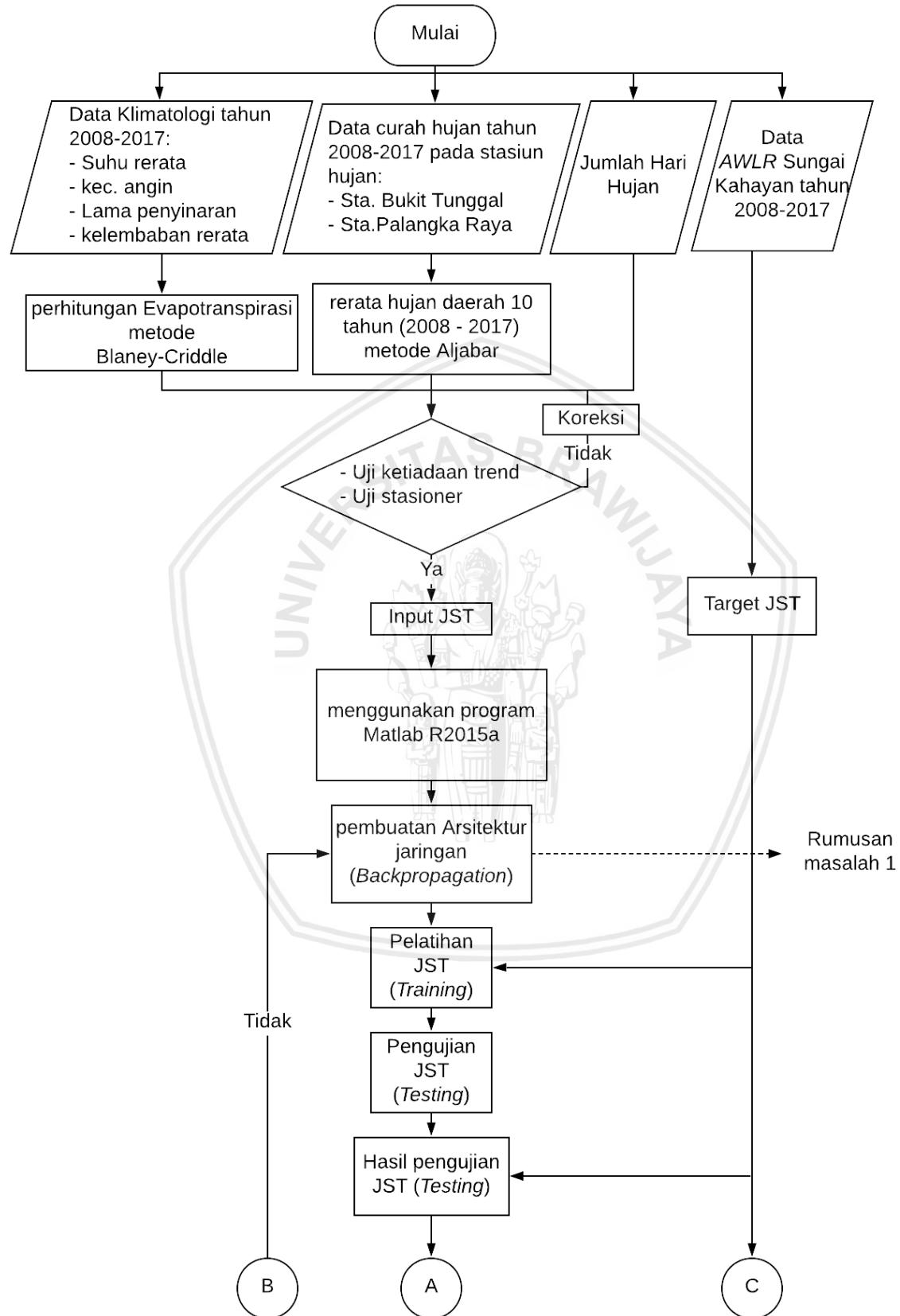
---

Sumber: Hasil Rekapitulasi

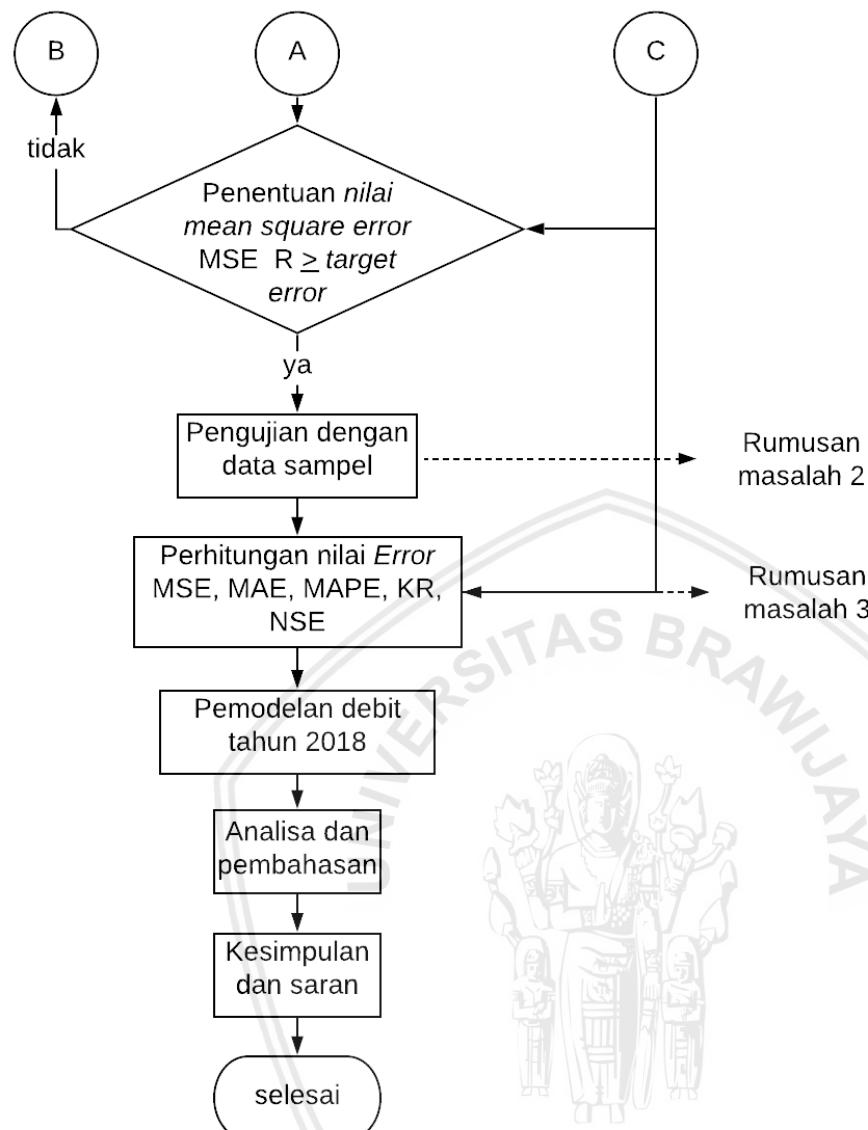


### 3.4 Diagram Pengerjaan Studi

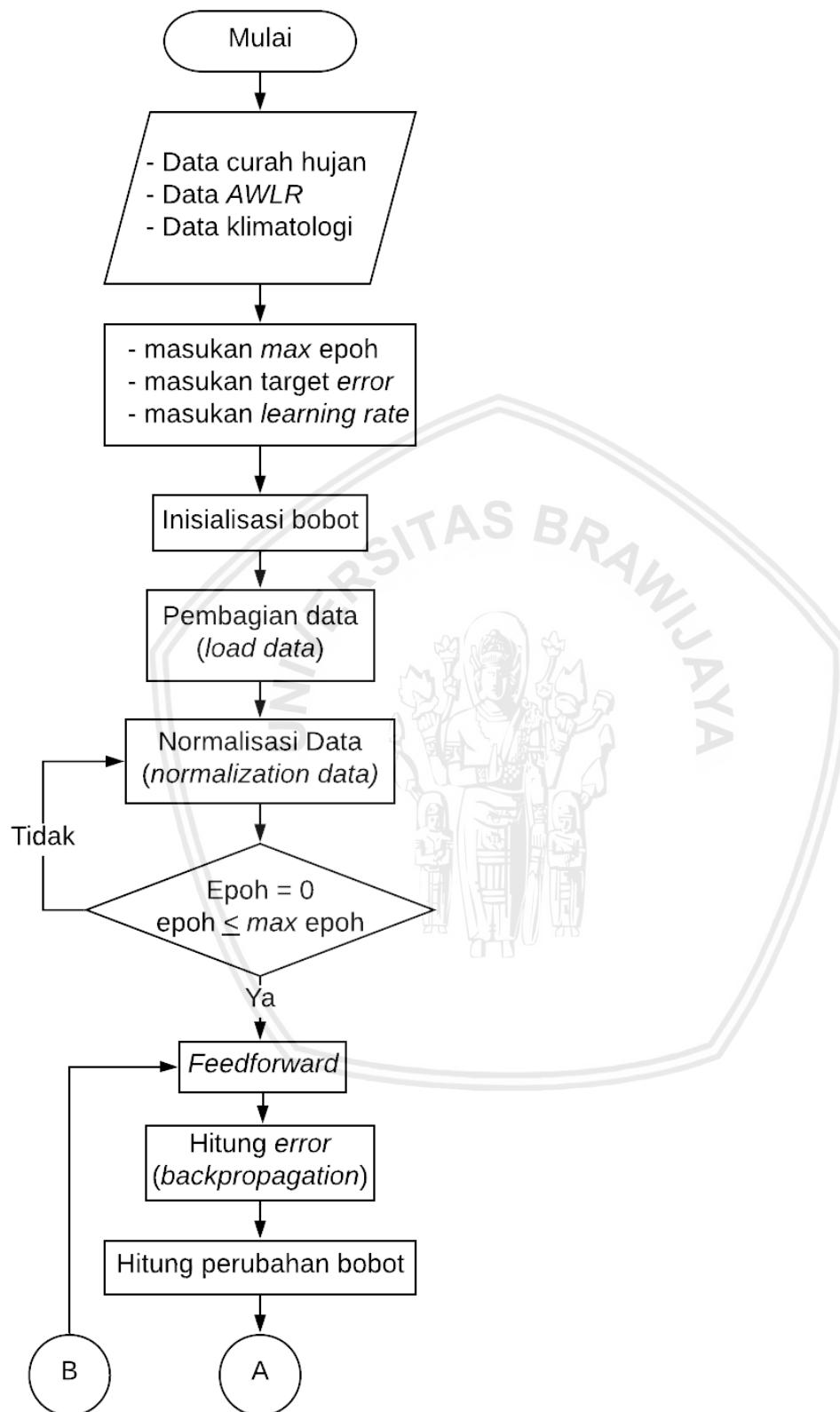
Diagram alir pengerjaan studi ini digambarkan pada gambar 3.2 dan 3.3:



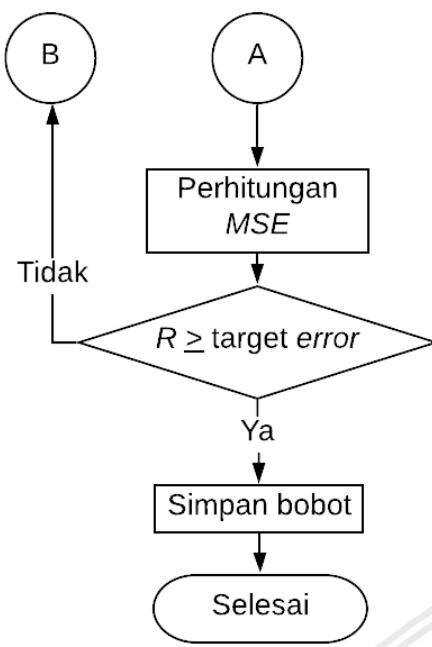
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi



Lanjutan Gambar 3.2 Diagram Alir Penggerjaan Skripsi



Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan JST Metode *Backpropagation*



Lanjutan Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan JST Metode Backpropagation

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### **4.1 Tahap Pengolahan Data**

Studi pemodelan debit sungai Kahayan, diawali dengan melakukan pengolahan data evapotranspirasi, curah hujan ,dan debit model jaringan syaraf tiruan menggunakan program Matlab 2015A.

##### **4.1.1 Pengolahan Data Evapotranspirasi**

Data Evapotranspirasi diolah menggunakan metode Penman berdasarkan data suhu, lama penyinaran, kelembaban,dan kecepatan angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) stasiun Tjilik riwut tahun 2008-2017. Rekapitulasi data BMKG dapat dilihat pada **lampiran 1**. Berikut contoh perhitungan nilai Evapotranspirasi pada bulan Januari 2008:

1. Perhitungan tekanan uap jenuh ( $e_s$ ) dan tekanan uap udara ( $e_d$ )

$$e_s = 611 \exp\left(\frac{17,27T}{237,3T}\right)$$

$$= 611 \exp\left(\frac{17,27 \cdot 27}{237,3 \cdot 27}\right)$$

$$= 3567 \text{ Pa}$$

$$= 26,75 \text{ mmHg}$$

$$r = \frac{e_d}{e_s} \cdot 100\%$$

$$e_d = \frac{r \cdot e_s}{100\%}$$

$$= \frac{84\% \cdot 26,75}{100\%}$$

$$= 22,38 \text{ mmHg}$$

2. Perhitungan radiasi matahari yang diserap bumi ( $S_n$ ) dan radiasi gelombang panjang netto ( $L_n$ ).

$$S_n = S_0(1 - \alpha)\left(0,29 + 0,42 \frac{n}{N}\right)$$

$$= 901(1 - 0,1)(0,29 + 0,42 \cdot 0,4)$$

$$= 383,4 \text{ cal/cm}^2/\text{har}$$

$$\begin{aligned}
 L_n &= \sigma T^4 (0,56 - 0,092\sqrt{e_d}) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N}\right) \\
 &= 1,17 \cdot 10^{-7} 300,15^4 (0,56 - 0,092\sqrt{22,38}) (0,1 + 0,9 \cdot 0,4) \\
 &= 58,3 \text{ cal/cm}^2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan radiasi netto yang diterima permukaan bumi ( $R_n$ ) dan panas laten untuk evaporasi ( $l_v$ ).

$$\begin{aligned}
 R_n &= S_n - L_n \\
 &= 383,4 - 58,3 \\
 &= 325,1 \text{ cal/cm}^2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_v &= 597,3 - 0,564T \\
 &= 597,3 - 0,564 \cdot 27 \\
 &= 582,1 \text{ cal/gr}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan evaporasi (E) dan kedalaman penguapan ( $E_n$ ).

$$\begin{aligned}
 E &= 0,35 \cdot (0,5 + 0,54 \cdot U_2) \cdot (e_s - e_d) \\
 &= 0,35 \cdot (0,5 + 0,54 \cdot 0,7) \cdot (3567 - 22,38) \\
 &= 1,4 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_n &= \frac{R_n}{\rho_w \cdot l_v} \\
 &= \frac{325,1}{1 \cdot 582,1} \\
 &= 0,56 \text{ cm/hari} \\
 &= 5,6 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan evaporasi (E) dan kedalaman penguapan ( $E_n$ ).

$$\begin{aligned}
 E_t &= \frac{\beta E_n + E}{\beta + 1} \\
 &= \frac{3,18 \cdot 5,6 + 1,4}{3,18 + 1} \\
 &= 4,6 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya akan direkap dalam tabel 4.1

Tabel 4.1

Rekapitulasi Nilai Et

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2008	4,6	4,5	4,4	4,4	4,5	3,9	3,7	4,3	4,6	4,5	3,9	3,4
2009	4,1	4,4	4,4	4,4	4,5	4,0	4,2	4,5	4,2	4,3	4,3	4,0
2010	4,3	4,7	4,7	4,4	4,4	3,7	3,7	4,3	4,4	4,5	3,9	3,7
2011	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,2	4,2	4,2	4,3	4,4	3,8	3,3

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.1  
Rekapitulasi Nilai Et

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2012	4,2	4,0	4,4	4,4	3,8	4,0	3,8	4,1	4,5	4,4	4,1	3,4
2013	4,2	4,6	4,3	4,3	4,0	3,9	3,8	4,4	4,6	4,7	4,2	3,7
2014	4,4	4,5	4,5	4,6	4,3	3,9	4,3	4,6	4,4	4,0	4,0	3,9
2015	4,6	4,1	4,4	4,8	4,6	4,2	4,6	4,9	3,7	2,3	4,1	3,9
2016	4,3	4,0	4,5	4,3	4,5	4,1	4,2	4,6	4,6	4,4	3,8	4,0
2017	4,7	4,9	4,6	4,4	4,6	4,0	4,7	4,6	5,4	4,9	4,4	5,1

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

#### 4.1.2 Pengolahan Data Curah Hujan

Pengaruh hujan secara langsung dapat berguna sebagai sumber air dan juga berpengaruh dalam penggerusan lahan, secara tidak langsung pengaruh hujan dapat mempengaruhi pertumbuhan vegetasi. Data hujan diperlukan untuk menjadi salah satu data dari input layers dalam program Matlab 2015A. Input layers ini selanjutnya akan dinilai bobotnya dan dijumlahkan dengan bobot data temperatur udara, selanjutnya dilakukan fungsi aktivasi yang terdapat di jaringan arsitektur yang akan dibuat. Bobot tersebut ditambah bias dari error yang akan dicari hubungannya dengan nilai output layers data debit stasiun AWLR Palangkaraya.

Data hujan yang digunakan dalam studi ini adalah daya hujan yang berasal dari 3 stasiun hujan di DAS Kahayan. Dengan jangka waktu 10 tahun yakni antara tahun 2008-2017.

Berikut merupakan stasiun yang dimaksud:

1. Sta. Palangkaraya 010 23' 34" LS / 1130 29' 28" BT
2. Sta. Bukit Tunggal 020 11' 46" LS / 1130 53' 35" BT

##### 4.1.2.1 Curah Hujan Rerata Daerah

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan yang terjadi hanya pada suatu tempat atau titik saja. Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap suatu tempat, maka untuk suatu kawasan yang luas satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan di wilayah tersebut, diperlukan suatu metode untuk menghitung hujan rerata daerah. Metode yang digunakan dalam studi ini menggunakan metode Aljabar, berikut contoh perhitungan hujan rerata daerah menggunakan Aljabar pada bulan januari 2008:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{2} (5,09 + 0,0)$$

$$\bar{R} = 2,25 \text{ mm}$$

Berikut rekapitulasi hujan rerata daerah dalam mm menggunakan metode Aljabar:

Tabel 4.2  
Curah Hujan Rerata Daerah Bulanan Menggunakan Metode Aljabar

Tahun	Bulan	Hujan Sta. Palangkaraya (mm)	Hujan Sta. Bukit Tunggal (mm)	Hujan Rerata Daerah (mm)
2008	Jan	5,09	0,00	2,55
	Feb	1,94	0,00	0,97
	Mar	12,37	14,15	13,26
	Apr	5,75	7,23	6,49
	Mei	4,14	3,22	3,68
	Jun	1,28	1,44	1,36
	Jul	0,72	0,99	0,85
	Ags	2,56	3,14	2,85
	Sep	3,04	2,95	3,00
	Okt	4,94	6,44	5,69
	Nop	9,11	10,48	9,80
	Des	13,44	19,85	16,64
2009	Jan	17,61	24,10	20,85
	Feb	8,39	12,58	10,48
	Mar	24,95	36,16	30,55
	Apr	18,44	27,62	23,03
	Mei	4,91	7,36	6,13
	Jun	0,30	0,90	0,60
	Jul	1,21	1,82	1,51
	Ags	0,11	0,14	0,12
	Sep	0,09	0,99	0,54
	Okt	1,07	2,07	1,57
	Nop	3,90	3,75	3,82
	Des	6,88	12,07	9,47
2010	Jan	6,35	9,60	7,98
	Feb	11,57	16,66	14,12
	Mar	15,54	22,77	19,15
	Apr	17,10	21,30	19,20
	Mei	18,25	26,53	22,39
	Jun	19,50	28,67	24,09
	Jul	10,28	13,57	11,92
	Ags	29,29	41,15	35,22
	Sep	27,19	40,80	33,99
	Okt	33,76	50,64	42,20
	Nop	33,45	50,74	42,10
	Des	26,24	38,83	32,54
2011	Jan	13,10	13,99	13,54
	Feb	15,29	17,62	16,45

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.2  
Curah Hujan Rerata Daerah Bulanan Menggunakan Metode Aljabar

Tahun	Bulan	Hujan Sta. Palangkaraya (mm)	Hujan Sta. Bukit Tunggal (mm)	Hujan Rerata Daerah (mm)
2011	Mar	15,55	18,66	17,10
	Apr	12,10	17,16	14,63
	Mei	8,42	12,95	10,69
	Jun	2,39	4,32	3,36
	Jul	1,35	1,18	1,26
	Ags	0,29	0,34	0,32
	Sep	3,17	3,40	3,29
	Okt	1,95	5,31	3,63
	Nop	15,29	14,82	15,06
	Des	20,96	22,14	21,55
	Jan	15,93	18,08	17,01
	Feb	13,57	15,19	14,38
2012	Mar	23,30	27,53	25,41
	Apr	21,65	26,20	23,92
	Mei	15,10	17,72	16,41
	Jun	11,52	10,38	10,95
	Jul	5,88	8,60	7,24
	Ags	0,61	1,14	0,88
	Sep	0,09	0,12	0,11
	Okt	2,43	1,56	1,99
	Nop	28,95	25,36	27,16
	Des	35,14	34,91	35,03
	Jan	15,84	12,85	14,34
	Feb	29,79	29,72	29,76
2013	Mar	25,44	24,12	24,78
	Apr	30,79	30,59	30,69
	Mei	32,72	34,64	33,68
	Jun	11,04	9,76	10,40
	Jul	5,41	7,03	6,22
	Ags	4,14	4,49	4,31
	Sep	5,25	7,89	6,57
	Okt	3,57	1,33	2,45
	Nop	1,50	3,54	2,52
	Des	10,93	17,85	14,39
	Jan	7,48	11,21	9,35
	Feb	11,89	17,85	14,87
2014	Mar	18,67	21,24	19,96
	Apr	25,11	26,84	25,97

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.2  
Curah Hujan Rerata Daerah Bulanan Menggunakan Metode Aljabar

Tahun	Bulan	Hujan Sta. Palangkaraya (mm)	Hujan Sta. Bukit Tunggal (mm)	Hujan Rerata Daerah (mm)
2014	Mei	10,99	5,81	8,40
	Jun	6,97	7,50	7,23
	Jul	3,60	3,43	3,51
	Ags	4,59	5,17	4,88
	Sep	2,31	2,82	2,57
	Okt	5,39	3,59	4,49
	Nop	17,38	20,83	19,11
	Des	29,60	31,88	30,74
2015	Jan	7,21	9,04	8,12
	Feb	10,23	14,12	12,18
	Mar	9,36	12,83	11,10
	Apr	7,03	8,28	7,66
	Mei	6,24	7,39	6,81
	Jun	4,68	4,96	4,82
	Jul	1,31	1,26	1,29
	Ags	0,00	0,35	0,17
2016	Sep	0,00	0,00	0,00
	Okt	2,60	0,47	1,54
	Nop	7,95	10,43	9,19
	Des	8,44	9,01	8,72
	Jan	14,02	16,00	15,01
	Feb	16,27	19,31	17,79
	Mar	20,27	26,82	23,54
	Apr	22,18	19,97	21,07
2017	Mei	18,19	22,21	20,20
	Jun	22,82	17,21	20,02
	Jul	12,44	16,75	14,60
	Ags	10,31	11,20	10,75
	Sep	30,88	31,72	31,30
	Okt	35,62	37,00	36,31
	Nop	30,74	36,46	33,60
	Des	14,73	18,34	16,53
2017	Jan	9,68	10,73	10,20
	Feb	12,58	18,18	15,38
	Mar	29,00	32,35	30,68
	Apr	23,98	27,54	25,76
	Mei	17,33	20,35	18,84
	Jun	25,44	16,98	21,21

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.2  
Curah Hujan Rerata Daerah Bulanan Menggunakan Metode Aljabar

Tahun	Bulan	Hujan Sta. Palangkaraya (mm)	Hujan Sta. Bukit Tunggal (mm)	Hujan Rerata Daerah (mm)
2017	Jul	8,46	4,08	6,27
	Ags	7,24	9,02	8,13
	Sep	5,44	7,84	6,64
	Okt	12,71	14,83	13,77
	Nop	21,02	23,28	22,15
	Des	12,51	16,32	14,42

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

#### 4.1.2.2 Uji Ketiadaan *Trend*

##### 4.1.2.2.1 Uji Korelasi Peringkat Metode Spearman

Data input selama 10 tahun akan diuji ketiadaan *trend* untuk mengetahui perubahan variabel input dengan mengamati kecenderungan data menuju suatu arah (*trend*). Berikut merupakan tabel uji spearman untuk data hujan rerata daerah:

Tabel 4.3

Tabel Perhitungan Peringkat Metode Spearman Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Peringkat Tt	Hujan Rerata Daerah (mm)	peringkat Rt	dt	dt <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (3)	(7) = (6) x (6)
2008	Jan	1	2,55	101	100	10000
	Feb	2	0,97	111	109	11881
	Mar	3	13,26	58	55	3025
	Apr	4	6,49	83	79	6241
	Mei	5	3,68	93	88	7744
	Jun	6	1,36	108	102	10404
	Jul	7	0,85	113	106	11236
	Ags	8	2,85	99	91	8281
	Sep	9	3,00	98	89	7921
	Okt	10	5,69	87	77	5929
	Nop	11	9,80	68	57	3249
	Des	12	16,64	41	29	841
2009	Jan	13	20,85	30	17	289
	Feb	14	10,48	65	51	2601
	Mar	15	30,55	14	-1	1
	Apr	16	23,03	24	8	64
	Mei	17	6,13	86	69	4761
	Jun	18	0,60	114	96	9216
	Jul	19	1,51	107	88	7744
	Ags	20	0,12	118	98	9604

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.3

Tabel Perhitungan Peringkat Metode Spearman Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Peringkat Tt	Hujan Rerata Daerah (mm)	peringkat Rt	dt	$dt^2$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (3)	(7) = (6) x (6)
2009	Sep	21	0,54	115	94	8836
	Okt	22	1,57	105	83	6889
	Nop	23	3,82	92	69	4761
	Des	24	9,47	69	45	2025
2010	Jan	25	7,98	76	51	2601
	Feb	26	14,12	55	29	841
	Mar	27	19,15	35	8	64
	Apr	28	19,20	34	6	36
	Mei	29	22,39	25	-4	16
	Jun	30	24,09	21	-9	81
	Jul	31	11,92	60	29	841
	Ags	32	35,22	4	-28	784
	Sep	33	33,99	6	-27	729
	Okt	34	42,20	1	-33	1089
	Nop	35	42,10	2	-33	1089
	Des	36	32,54	9	-27	729
2011	Jan	37	13,54	57	20	400
	Feb	38	16,45	43	5	25
	Mar	39	17,10	39	0	0
	Apr	40	14,63	49	9	81
	Mei	41	10,69	64	23	529
	Jun	42	3,36	96	54	2916
	Jul	43	1,26	110	67	4489
	Ags	44	0,32	116	72	5184
	Sep	45	3,29	97	52	2704
	Okt	46	3,63	94	48	2304
	Nop	47	15,06	46	-1	1
	Des	48	21,55	27	-21	441
2012	Jan	49	17,01	40	-9	81
	Feb	50	14,38	53	3	9
	Mar	51	25,41	19	-32	1024
	Apr	52	23,92	22	-30	900
	Mei	53	16,41	44	-9	81
	Jun	54	10,95	62	8	64
	Jul	55	7,24	78	23	529
	Ags	56	0,88	112	56	3136
	Sep	57	0,11	119	62	3844

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.3

Tabel Perhitungan Peringkat Metode Spearman Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Peringkat Tt	Hujan Rerata Daerah (mm)	peringkat Rt	dt	dt <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (3)	(7) = (6) x (6)
2012	Okt	58	1,99	104	46	2116
	Nop	59	27,16	16	-43	1849
	Des	60	35,03	5	-55	3025
	Jan	61	14,34	54	-7	49
	Feb	62	29,76	15	-47	2209
	Mar	63	24,78	20	-43	1849
2013	Apr	64	30,69	12	-52	2704
	Mei	65	33,68	7	-58	3364
	Jun	66	10,40	66	0	0
	Jul	67	6,22	85	18	324
	Ags	68	4,31	91	23	529
	Sep	69	6,57	82	13	169
2014	Okt	70	2,45	103	33	1089
	Nop	71	2,52	102	31	961
	Des	72	14,39	52	-20	400
	Jan	73	9,35	70	-3	9
	Feb	74	14,87	48	-26	676
	Mar	75	19,96	33	-42	1764
2015	Apr	76	25,97	17	-59	3481
	Mei	77	8,40	73	-4	16
	Jun	78	7,23	79	1	1
	Jul	79	3,51	95	16	256
	Ags	80	4,88	88	8	64
	Sep	81	2,57	100	19	361
	Okt	82	4,49	90	8	64
	Nop	83	19,11	36	-47	2209
	Des	84	30,74	11	-73	5329
	Jan	85	8,12	75	-10	100
	Feb	86	12,18	59	-27	729
	Mar	87	11,10	61	-26	676
	Apr	88	7,66	77	-11	121
	Mei	89	6,81	80	-9	81
	Jun	90	4,82	89	-1	1
	Jul	91	1,29	109	18	324
	Ags	92	0,17	117	25	625
	Sep	93	0,00	120	27	729
	Okt	94	1,54	106	12	144

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.3

Tabel Perhitungan Peringkat Metode Spearman Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Peringkat Tt	Hujan Rerata Daerah (mm)	peringkat Rt	dt	dt <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (3)	(7) = (6) x (6)
2015	Nop	95	9,19	71	-24	576
	Des	96	8,72	72	-24	576
	Jan	97	15,01	47	-50	2500
	Feb	98	17,79	38	-60	3600
	Mar	99	23,54	23	-76	5776
	Apr	100	21,07	29	-71	5041
	Mei	101	20,20	31	-70	4900
	Jun	102	20,02	32	-70	4900
	Jul	103	14,60	50	-53	2809
	Ags	104	10,75	63	-41	1681
	Sep	105	31,30	10	-95	9025
	Okt	106	36,31	3	-103	10609
2016	Nop	107	33,60	8	-99	9801
	Des	108	16,53	42	-66	4356
	Jan	109	10,20	67	-42	1764
	Feb	110	15,38	45	-65	4225
	Mar	111	30,68	13	-98	9604
	Apr	112	25,76	18	-94	8836
	Mei	113	18,84	37	-76	5776
	Jun	114	21,21	28	-86	7396
	Jul	115	6,27	84	-31	961
	Ags	116	8,13	74	-42	1764
	Sep	117	6,64	81	-36	1296
	Okt	118	13,77	56	-62	3844
2017	Nop	119	22,15	26	-93	8649
	Des	120	14,42	51	-69	4761
	Jumlah					344608

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Berdasarkan pada Tabel 4.3 maka didapat perhitungan sebagai berikut:

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

$$KP = 1 - \frac{6 \times 344608}{120^3 - 120}$$

$$KP = -0,197$$

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

$$t = (0,152) - \left[ \frac{120 - 2}{1 - (-0,197)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$t = -2,178$$

Dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 5% didapat nilai tcr sebesar 1,96 dengan hasil t > tcr maka pada derajat kepercayaan 5% data uji ditolak karena terdapat trend, sedangkan dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 1% didapat nilai tcr sebesar 2,58 dengan hasil t hitung < tcr maka pada derajat kepercayaan 1% data uji diterima karena tidak terdapat trend.

#### 4.1.2.2.2 Uji Mann Whitney

Uji ketiadaan trend juga dapat dihitung menggunakan uji Mann & Whithney, uji ini akan menentukan data berasal dari populasi yang sama atau tidak, berikut uji Mann & Whithney:

Tabel 4.4

Tabel Perhitungan Uji Mann Whitney Hujan Rerata Daerah

No	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Peringkat	No	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Peringkat
1	2008	Jan	2,55	101	61	2013	Jan	14,34	54
2		Feb	0,97	111	62		Feb	29,76	15
3		Mar	13,26	58	63		Mar	24,78	20
4		Apr	6,49	83	64		Apr	30,69	12
5		Mei	3,68	93	65		Mei	33,68	7
6		Jun	1,36	108	66		Jun	10,40	66
7		Jul	0,85	113	67		Jul	6,22	85
8		Ags	2,85	99	68		Ags	4,31	91
9		Sep	3,00	98	69		Sep	6,57	82
10		Okt	5,69	87	70		Okt	2,45	103
11		Nop	9,80	68	71		Nop	2,52	102
12		Des	16,64	41	72		Des	14,39	52
13	2009	Jan	20,85	30	73	2014	Jan	9,35	70
14		Feb	10,48	65	74		Feb	14,87	48
15		Mar	30,55	14	75		Mar	19,96	33
16		Apr	23,03	24	76		Apr	25,97	17
17		Mei	6,13	86	77		Mei	8,40	73
18		Jun	0,60	114	78		Jun	7,23	79
19		Jul	1,51	107	79		Jul	3,51	95
20		Ags	0,12	118	80		Ags	4,88	88
21		Sep	0,54	115	81		Sep	2,57	100
22		Okt	1,57	105	82		Okt	4,49	90
23		Nop	3,82	92	83		Nop	19,11	36
24		Des	9,47	69	84		Des	30,74	11
25	2010	Jan	7,98	76	85	2015	Jan	8,12	75
26		Feb	14,12	55	86		Feb	12,18	59

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.4

Tabel Perhitungan Uji Mann Whitney Hujan Rerata Daerah

No	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Peringkat	No	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Peringkat
27	2010	Mar	19,15	35	87	2015	Mar	11,10	61
28		Apr	19,20	34	88		Apr	7,66	77
29		Mei	22,39	25	89		Mei	6,81	80
30		Jun	24,09	21	90		Jun	4,82	89
31		Jul	11,92	60	91		Jul	1,29	109
32		Ags	35,22	4	92		Ags	0,17	117
33		Sep	33,99	6	93		Sep	0,00	120
34		Okt	42,20	1	94		Okt	1,54	106
35		Nop	42,10	2	95		Nop	9,19	71
36		Des	32,54	9	96		Des	8,72	72
37		Jan	13,54	57	97		Jan	15,01	47
38		Feb	16,45	43	98		Feb	17,79	38
39	2011	Mar	17,10	39	99	2016	Mar	23,54	23
40		Apr	14,63	49	100		Apr	21,07	29
41		Mei	10,69	64	101		Mei	20,20	31
42		Jun	3,36	96	102		Jun	20,02	32
43		Jul	1,26	110	103		Jul	14,60	50
44		Ags	0,32	116	104		Ags	10,75	63
45		Sep	3,29	97	105		Sep	31,30	10
46		Okt	3,63	94	106		Okt	36,31	3
47		Nop	15,06	46	107		Nop	33,60	8
48		Des	21,55	27	108		Des	16,53	42
49		Jan	17,01	40	109		Jan	10,20	67
50		Feb	14,38	53	110		Feb	15,38	45
51	2012	Mar	25,41	19	111	2017	Mar	30,68	13
52		Apr	23,92	22	112		Apr	25,76	18
53		Mei	16,41	44	113		Mei	18,84	37
54		Jun	10,95	62	114		Jun	21,21	28
55		Jul	7,24	78	115		Jul	6,27	84
56		Ags	0,88	112	116		Ags	8,13	74
57		Sep	0,11	119	117		Sep	6,64	81
58		Okt	1,99	104	118		Okt	13,77	56
59		Nop	27,16	16	119		Nop	22,15	26
60		Des	35,03	5	120		Des	14,42	51
jumlah			3839		jumlah			3421	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Berdasarkan pada data tabel 4.4 maka didapat perhitungan sebagai berikut:

$$U_1 = N_1 N_2 + (N_1/2)(N_1 + 1) - Rm$$

$$U_1 = 60 \times 60 + (60/2)(60 + 1) - 3839$$

$$U_1 = 1591$$

$$U_2 = N_1 N_2 - U_1$$

$$U_2 = 60 \times 60 - 1591$$

$$U_2 = 2009$$

$$Z = \frac{U_1 - \frac{N_1 N_2}{2}}{\left(\frac{1}{2} (N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1))^{0,5}\right)}$$

$$Z = \frac{1721 - \frac{60 \times 60}{2}}{\left(\frac{1}{2} (60 \times 60 (60 + 60 + 1))^{0,5}\right)}$$

$$Z = -1,0969$$

Dari tabel Z dengan derajat kepercayaan 5% dengan uji satu sisi didapat nilai  $Z_{cr}$  sebesar 1,645 dengan hasil  $Z_{hitung} < Z_{cr}$  maka pada uji satu sisi data uji diterima karena tidak terdapat trend, sedangkan dari tabel uji Z dengan derajat kepercayaan 5% dengan uji dua sisi didapat nilai  $Z_{cr}$  sebesar 1,906 dengan hasil  $Z_{hitung} < Z_{cr}$  maka pada uji dua sisi data uji diterima karena tidak terdapat trend.

#### 4.1.2.2.3 Uji atanda Cox dan stuart

Perubahan trend data juga dapat diperoleh dari uji cox dan stuard, kelompok I dan kelompok III dibandingkan. Apabila nilai kelompok III lebih besar dari kelompok II maka diberi tanda positif dan sebaliknya apabila nilai kelompok III lebih kecil dari kelompok II maka diberi tanda negatif, berikut merupakan tabel uji Cox dan Stuart:

Tabel 4.5

Tabel Perbandingan Data Kelompok I dan III Uji Cox & Stuart Hujan Rerata Daerah

Hujan Rerata Daerah (mm)		
kelompok I (2008-2011)	kelompok III (2014-2017)	tanda III - I
2,55	2,57	+
0,97	4,49	+
13,26	19,11	+
6,49	30,74	+
3,68	8,12	+
1,36	12,18	+
0,85	11,10	+
2,85	7,66	+
3,00	6,81	+
5,69	4,82	-
9,80	1,29	-
16,64	0,17	-
20,85	0,00	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.5

Tabel Perbandingan Data Kelompok I dan III Uji Cox &amp; Stuart Hujan Rerata Daerah

Hujan Rerata Daerah (mm)		
kelompok I (2008-2011)	kelompok III (2014-2017)	tanda III - I
10,48	1,54	-
30,55	9,19	-
23,03	8,72	-
6,13	15,01	+
0,60	17,79	+
1,51	23,54	+
0,12	21,07	+
0,54	20,20	+
3,82	14,60	+
9,47	10,75	+
7,98	31,30	+
14,12	36,31	+
19,15	33,60	+
19,20	16,53	-
22,39	10,20	-
24,09	15,38	-
11,92	30,68	+
35,22	25,76	-
33,99	18,84	-
42,20	21,21	-
42,10	6,27	-
32,54	8,13	-
13,54	6,64	-
16,45	13,77	-
17,10	22,15	+
14,63	14,42	-
S	22	
n	120	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Dari tabel 4.5 didapat perhitungan sebagai berikut:

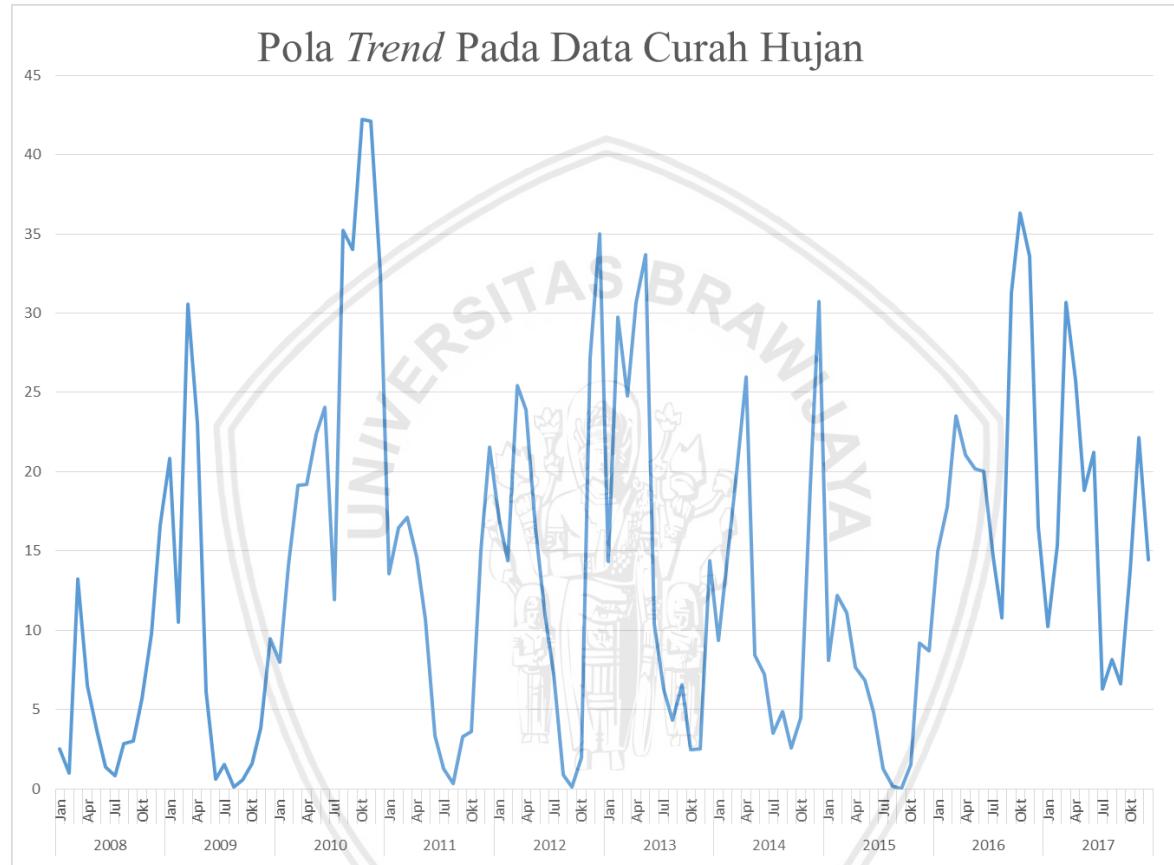
$$Z = \frac{s - \frac{n}{6}}{(\frac{n}{12})^{0,5}}$$

$$Z = \frac{22 - \frac{120}{6}}{(\frac{120}{12})^{0,5}}$$

$$Z = 0,63$$

Dari tabel Z dengan derajat kepercayaan 5% dengan uji satu sisi didapat nilai  $Z_{cr}$  sebesar 1,65 dengan hasil  $Z_{hitung} < Z_{cr}$  maka pada uji satu sisi data diterima karena tidak terdapat trend, sedangkan dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 5% dengan uji dua sisi didapat nilai  $Z_{cr}$  sebesar 1,96 dengan hasil  $Z_{hitung} < Z_{cr}$  maka pada uji dua sisi data uji diterima karena tidak terdapat trend.

Setelah dilakukan uji ketiadaan trend pada hujan rerata daerah berikut merupakan grafik dan tabel rekapitulasi hasil uji ketiadaan trend



Gambar 4.1 Pola Trend Pada Data Curah Hujan Rerata Daerah

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Tabel 4.6

Rekapitulasi Hasil Uji Ketiadaan Trend Hujan Rerata Daerah

Data	Jenis Uji ketiadaan trend					
	Spearman		Mann & Whitney		Cox & Stuart	
	5%	1%	1 sisi	2 sisi	1 sisi	2 sisi
Hujan Rerata Daerah (mm)	ditolak	diterima	diterima	diterima	diterima	diterima

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Dari hasil uji Ketiadaan Trend diketahui bahwa pada data curah hujan rerata daerah terdapat data yang tidak lulus uji Hal ini terjadi karena di dalam deret data terdapat nilai yang menunjukkan gerakan yang mempunyai pola kecenderungan menuju kesatu arah menaik atau menurun (*Trend*).

#### 4.1.2.3 Uji Stasioner

##### 4.1.2.3.1 Uji F

Data input akan dibagi menjadi dua kelompok data, Kelompok pertama data dari bulan Januari 2008 – Desember 2012 dan kelompok data kedua dari bulan Januari 2013–Desember 2017, berikut merupakan tabel uji F pada data curah hujan rerata daerah:

Tabel 4.7

Tabel Uji F Pada Data Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)
2008	Jan	2,55	2013	Jan	14,34
	Feb	0,97		Feb	29,76
	Mar	13,26		Mar	24,78
	Apr	6,49		Apr	30,69
	Mei	3,68		Mei	33,68
	Jun	1,36		Jun	10,40
	Jul	0,85		Jul	6,22
	Ags	2,85		Ags	4,31
	Sep	3,00		Sep	6,57
	Okt	5,69		Okt	2,45
	Nop	9,80		Nop	2,52
	Des	16,64		Des	14,39
2009	Jan	20,85	2014	Jan	9,35
	Feb	10,48		Feb	14,87
	Mar	30,55		Mar	19,96
	Apr	23,03		Apr	25,97
	Mei	6,13		Mei	8,40
	Jun	0,60		Jun	7,23
	Jul	1,51		Jul	3,51
	Ags	0,12		Ags	4,88
	Sep	0,54		Sep	2,57
	Okt	1,57		Okt	4,49
	Nop	3,82		Nop	19,11
	Des	9,47		Des	30,74
2010	Jan	7,98	2015	Jan	8,12
	Feb	14,12		Feb	12,18
	Mar	19,15		Mar	11,10
	Apr	19,20		Apr	7,66
	Mei	22,39		Mei	6,81

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.7  
Tabel Uji F Pada Data Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)
2010	Jun	24,09	2015	Jun	4,82
	Jul	11,92		Jul	1,29
	Ags	35,22		Ags	0,17
	Sep	33,99		Sep	0,00
	Okt	42,20		Okt	1,54
	Nop	42,10		Nop	9,19
2011	Des	32,54	2016	Des	8,72
	Jan	13,54		Jan	15,01
	Feb	16,45		Feb	17,79
	Mar	17,10		Mar	23,54
	Apr	14,63		Apr	21,07
	Mei	10,69		Mei	20,20
	Jun	3,36		Jun	20,02
	Jul	1,26		Jul	14,60
	Ags	0,32		Ags	10,75
	Sep	3,29		Sep	31,30
	Okt	3,63		Okt	36,31
	Nop	15,06		Nop	33,60
2012	Des	21,55	2017	Des	16,53
	Jan	17,01		Jan	10,20
	Feb	14,38		Feb	15,38
	Mar	25,41		Mar	30,68
	Apr	23,92		Apr	25,76
	Mei	16,41		Mei	18,84
	Jun	10,95		Jun	21,21
	Jul	7,24		Jul	6,27
	Ags	0,88		Ags	8,13
	Sep	0,11		Sep	6,64
	Okt	1,99		Okt	13,77
	Nop	27,16		Nop	22,15
	Des	35,03		Des	14,42
	jumlah	782,08		jumlah	856,95
	rerata	13,03		rerata	14,28
	S1	11,49		S1	9,78
	N1	60		N1	60
	dk1	59		dk1	59

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Dari tabel 4.7 didapat perhitungan sebagai berikut:

$$F = \frac{n_1 s_1^2 (n_2 - 1)}{n_2 s_2^2 (n_1 - 1)}$$

$$F = \frac{60 \times 11,49^2 (60 - 1)}{60 \times 9,78^2 (60 - 1)}$$

$$F = 1,38$$

Dari tabel uji F dengan derajat kepercayaan 5% didapat nilai tcr sebesar 1,539 dengan hasil hitung < tcr maka pada derajat kepercayaan 5% data uji diterima karena data bersifat homogen. Sedangkan dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 1% didapat nilai tcr sebesar 1,845 dengan hasil hitung < tcr maka pada derajat kepercayaan 1% data uji diterima karena data bersifat homogen.

#### 4.1.2.3.2 Uji T

Data curah hujan akan dibagi menjadi dua kelompok data. Kelompok pertama data dari bulan Januari 2008 – Desember 2012 dan kelompok data kedua dari bulan Januari 2013 – Desember 2017, berikut merupakan tabel uji T:

Tabel 4.8

Tabel Uji T Pada Data Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)
2008	Jan	2,55	2013	Jan	14,34
	Feb	0,97		Feb	29,76
	Mar	13,26		Mar	24,78
	Apr	6,49		Apr	30,69
	Mei	3,68		Mei	33,68
	Jun	1,36		Jun	10,40
	Jul	0,85		Jul	6,22
	Ags	2,85		Ags	4,31
	Sep	3,00		Sep	6,57
	Okt	5,69		Okt	2,45
	Nop	9,80		Nop	2,52
	Des	16,64		Des	14,39
2009	Jan	20,85	2014	Jan	9,35
	Feb	10,48		Feb	14,87
	Mar	30,55		Mar	19,96
	Apr	23,03		Apr	25,97
	Mei	6,13		Mei	8,40
	Jun	0,60		Jun	7,23
	Jul	1,51		Jul	3,51

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.8  
Tabel Uji T Pada Data Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)
2009	Ags	0,12	2014	Ags	4,88
	Sep	0,54		Sep	2,57
	Okt	1,57		Okt	4,49
	Nop	3,82		Nop	19,11
	Des	9,47		Des	30,74
2010	Jan	7,98	2015	Jan	8,12
	Feb	14,12		Feb	12,18
	Mar	19,15		Mar	11,10
	Apr	19,20		Apr	7,66
	Mei	22,39		Mei	6,81
	Jun	24,09		Jun	4,82
	Jul	11,92		Jul	1,29
	Ags	35,22		Ags	0,17
	Sep	33,99		Sep	0,00
	Okt	42,20		Okt	1,54
	Nop	42,10		Nop	9,19
	Des	32,54		Des	8,72
2011	Jan	13,54	2016	Jan	15,01
	Feb	16,45		Feb	17,79
	Mar	17,10		Mar	23,54
	Apr	14,63		Apr	21,07
	Mei	10,69		Mei	20,20
	Jun	3,36		Jun	20,02
	Jul	1,26		Jul	14,60
	Ags	0,32		Ags	10,75
	Sep	3,29		Sep	31,30
	Okt	3,63		Okt	36,31
	Nop	15,06		Nop	33,60
	Des	21,55		Des	16,53
2012	Jan	17,01	2017	Jan	10,20
	Feb	14,38		Feb	15,38
	Mar	25,41		Mar	30,68
	Apr	23,92		Apr	25,76
	Mei	16,41		Mei	18,84
	Jun	10,95		Jun	21,21
	Jul	7,24		Jul	6,27
	Ags	0,88		Ags	8,13
	Sep	0,11		Sep	6,64

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.8

Tabel Uji T Pada Data Hujan Rerata Daerah

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)
2012	Okt	1,99	2017	Okt	13,77
	Nop	27,16		Nop	22,15
	Des	35,03		Des	14,42
jumlah		782,08	jumlah		856,95
rerata		13,03	rerata		14,28
S1		11,49	S1		9,78
N1		60	N1		60
dk1		59	dk1		59

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Dari tabel 4.8 didapat perhitungan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(60-1)11,49^2 + (60-1)9,78^2}{60+60-2}}$$

$$\sigma = 34,56$$

$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

$$t = \frac{|7,69 - 8,02|}{540,19 \sqrt{\frac{1}{60} + \frac{1}{60}}}$$

$$t = 0,052$$

Dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 5% didapat nilai  $t_{cr}$  sebesar 1,96 dengan hasil  $t_{hitung} < t_{cr}$  maka pada derajat kepercayaan 5% data uji diterima, dan dari tabel uji T dengan derajat kepercayaan 1% didapat nilai  $t_{cr}$  sebesar 2,58 dengan hasil  $t_{hitung} < t_{cr}$ , maka pada derajat kepercayaan 1% data uji diterima. Berikut rekapitulasi hasil Uji stasioner:

Tabel 4.9

Rekapitulasi Hasil Uji Stasioner Pada Data Hujan Rerata Daerah

Data	Jenis Uji Stasioner			
	Uji F		Uji t	
	5%	1%	5%	1%
Hujan Rerata Daerah (mm)	diterima	diterima	diterima	diterima

Sumber: Hasil Rekapitulasi

#### 4.2 Pengolahan Data Matlab R2015A

Matlab R2015A merupakan program aplikasi berbasis matriks. Pada studi kali ini diaplikasikan untuk memodelkan data *input* sehingga dapat diperoleh debit model. Berikut langkah-langkah tahapan dalam pengelolaan data menggunakan Matlab:

1. Data yang digunakan pada aplikasi Matlab terlebih dahulu disiapkan, untuk data *input* dan target terlebih dahulu direkap menjadi satu *file* agar mempermudah penginputan berikut merupakan data *input* dan target yang telah direkap:

Tabel 4.10

Rekapitulasi data *input* dan Target pada program Matlab R2015A

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Evapotranspirasi (mm/hari)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
2008	Jan	2,547	4,573	94,16
	Feb	0,969	4,494	35,82
	Mar	13,261	4,403	490,30
	Apr	6,488	4,361	239,89
	Mei	3,677	4,498	135,96
	Jun	1,362	3,891	50,34
	Jul	0,852	3,737	31,49
	Ags	2,847	4,308	105,25
	Sep	2,995	4,635	110,73
	Okt	5,687	4,507	210,26
	Nop	9,795	3,918	362,14
	Des	16,644	3,408	615,35
2009	Jan	20,852	4,131	770,93
	Feb	10,482	4,448	387,55
	Mar	30,553	4,395	690,70
	Apr	23,032	4,361	608,41
	Mei	6,134	4,481	226,78
	Jun	0,600	3,955	22,18
	Jul	1,511	4,205	55,88
	Ags	0,124	4,491	4,59
	Sep	0,542	4,202	20,03
	Okt	1,571	4,257	58,08
	Nop	3,823	4,252	141,36
	Des	9,473	3,986	350,22
2010	Jan	7,976	4,346	294,88
	Feb	14,118	4,721	521,97
	Mar	19,153	4,663	708,14
	Apr	19,202	4,361	709,93
	Mei	22,390	4,359	674,80

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Lanjutan Tabel 4.10  
Rekapitulasi data *input* dan Target pada program Matlab R2015A

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Evapotranspirasi (mm/hari)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
2010	Jun	24,085	3,682	619,98
	Jul	11,924	3,726	440,86
	Ags	35,218	4,270	700,71
	Sep	33,993	4,437	666,32
	Okt	42,200	4,471	725,96
	Nop	42,095	3,941	774,85
2011	Des	32,535	3,671	601,05
	Jan	13,544	4,097	500,74
	Feb	16,454	4,070	608,33
	Mar	17,102	4,248	632,29
	Apr	14,632	4,220	540,97
	Mei	10,685	4,252	395,07
	Jun	3,355	4,178	124,04
	Jul	1,263	4,201	46,69
	Ags	0,316	4,241	11,69
	Sep	3,287	4,290	121,52
	Okt	3,632	4,406	134,29
	Nop	15,057	3,827	556,68
2012	Des	21,552	3,255	398,12
	Jan	17,006	4,248	628,77
	Feb	14,381	3,975	531,70
	Mar	25,415	4,364	544,20
	Apr	23,923	4,355	484,05
	Mei	16,410	3,780	606,70
	Jun	10,948	4,017	404,78
	Jul	7,242	3,831	267,75
	Ags	0,876	4,125	32,38
	Sep	0,108	4,505	4,01
	Okt	1,994	4,436	73,71
	Nop	27,158	4,117	403,55
2013	Des	35,027	3,409	716,93
	Jan	14,342	4,194	530,25
	Feb	29,757	4,608	651,43
	Mar	24,781	4,348	513,96
	Apr	30,688	4,339	678,05
	Mei	33,682	4,029	663,00
	Jun	10,398	3,872	384,45

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Lanjutan Tabel 4.10

Rekapitulasi data *input* dan Target pada program Matlab R2015A

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Evapotranspirasi (mm/hari)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
2013	Jul	6,219	3,822	229,94
	Ags	4,315	4,431	159,52
	Sep	6,570	4,575	242,91
	Okt	2,453	4,684	90,70
	Nop	2,520	4,158	93,17
	Des	14,389	3,698	531,98
2014	Jan	9,347	4,355	345,57
	Feb	14,866	4,523	549,63
	Mar	19,958	4,481	737,90
	Apr	25,973	4,635	451,09
	Mei	8,400	4,303	310,57
	Jun	7,233	3,880	267,43
	Jul	3,513	4,279	129,88
	Ags	4,881	4,627	180,45
	Sep	2,568	4,435	94,96
	Okt	4,489	4,016	165,96
	Nop	19,105	4,029	706,36
	Des	30,742	3,861	523,92
2015	Jan	8,124	4,559	300,37
	Feb	12,175	4,077	450,14
	Mar	11,095	4,424	410,21
	Apr	7,655	4,761	283,02
	Mei	6,815	4,572	251,95
	Jun	4,817	4,185	178,08
	Jul	1,287	4,568	47,59
	Ags	0,173	4,914	6,38
	Sep	0,000	3,749	25,38
	Okt	1,535	2,315	56,77
	Nop	9,193	4,136	339,90
	Des	8,724	3,937	322,55
2016	Jan	15,011	4,339	555,00
	Feb	17,790	3,976	657,72
	Mar	23,544	4,462	480,25
	Apr	21,073	4,285	411,35
	Mei	20,200	4,539	506,34
	Jun	20,015	4,132	619,98
	Jul	14,595	4,190	539,62

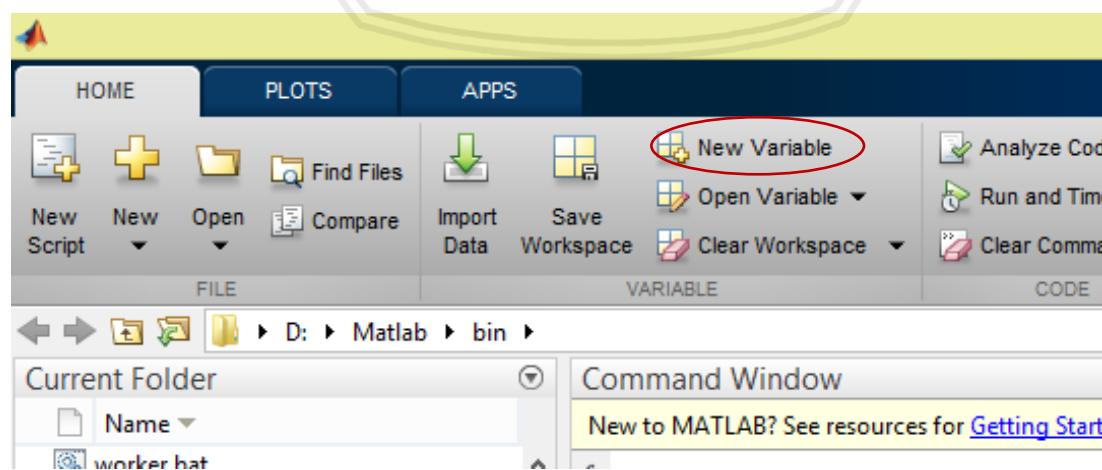
Sumber: Hasil Rekapitulasi

Lanjutan Tabel 4.10  
Rekapitulasi data *input* dan Target pada program Matlab R2015A

Tahun	Bulan	Hujan Rerata Daerah (mm)	Evapotranspirasi (mm/hari)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
2016	Ags	10,753	4,592	397,57
	Sep	31,297	4,556	666,32
	Okt	36,311	4,391	725,96
	Nop	33,603	3,776	698,95
	Des	16,534	3,981	611,29
2017	Jan	10,205	4,655	377,30
	Feb	15,377	4,936	568,51
	Mar	30,676	4,647	724,48
	Apr	25,762	4,441	576,15
	Mei	18,835	4,646	696,39
	Jun	21,210	4,048	821,97
	Jul	6,271	4,662	231,85
	Ags	8,127	4,566	300,49
	Sep	6,638	5,355	245,43
	Okt	13,771	4,944	509,14
	Nop	22,150	4,386	436,31
	Des	14,416	5,125	533,00

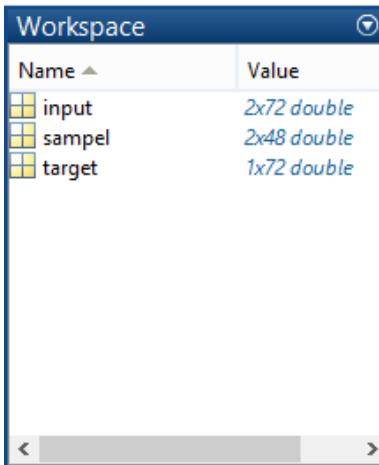
Sumber: Hasil Rekapitulasi

2. Buka aplikasi Matlab, klik *new variable* pada *Home toolstrip*. Variabel ini nantinya yang akan diisi oleh data-data yang sudah direkap agar dapat diolah pada aplikasi Matlab, beri nama “*input*” untuk data input berupa data hujan rerata daerah, dan evapotranspirasi tahun 2008 - 2017, untuk variabel selanjutnya beri nama “*target*” untuk data target berupa debit tahun 2008 – 2017.



Gambar 4.2 Home toolstrip

Sumber: Matlab R2015A



Gambar 4.3 Workspace

Sumber: Matlab R2015A

2. Klik dua kali pada variabel “input” pada *workspace* untuk mengisi data input yang akan diolah, salin data input yang telah direkap berupa data hujan rerata daerah,jumlah hari hujan, evapotranspirasi, kemudian tempel pada jendela variabel “input”, selain data input salin dan tempel juga data pada jendela variabel “sampel” untuk diuji, setelah itu salin dan tempel data debit pada variabel “target”, Dalam pembuatan jaringan pembagian data input dan data sampel menggunakan perbandingan 6 tahun / 4 tahun, 7 tahun / 3 tahun, 8 tahun / 2 tahun, 9 tahun / 1 tahun, Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pembagian data yang paling terbaik untuk pelatihan dan pengujian

Variables - input														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2.5500	0.9700	13.2600	6.4900	3.6800	1.3600	0.8500	2.8500	3	5.6900	9.8000	16.6400	20.8500	10.4800
2	4.5700	4.4900	4.4000	4.3600	4.5000	3.8900	3.7400	4.3100	4.6300	4.5100	3.9200	3.4100	4.1300	4.4500
3														

Gambar 4.4 Jendela Variable “input”

Sumber: Matlab R2015A

Variables - target														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	94.1600	35.8200	490.3000	239.8900	135.9600	50.3400	31.4900	105.2500	110.7300	210.2600	362.1400	615.3500	770.9300	387.5500
2														

Gambar 4.5 Jendela Variable “target”

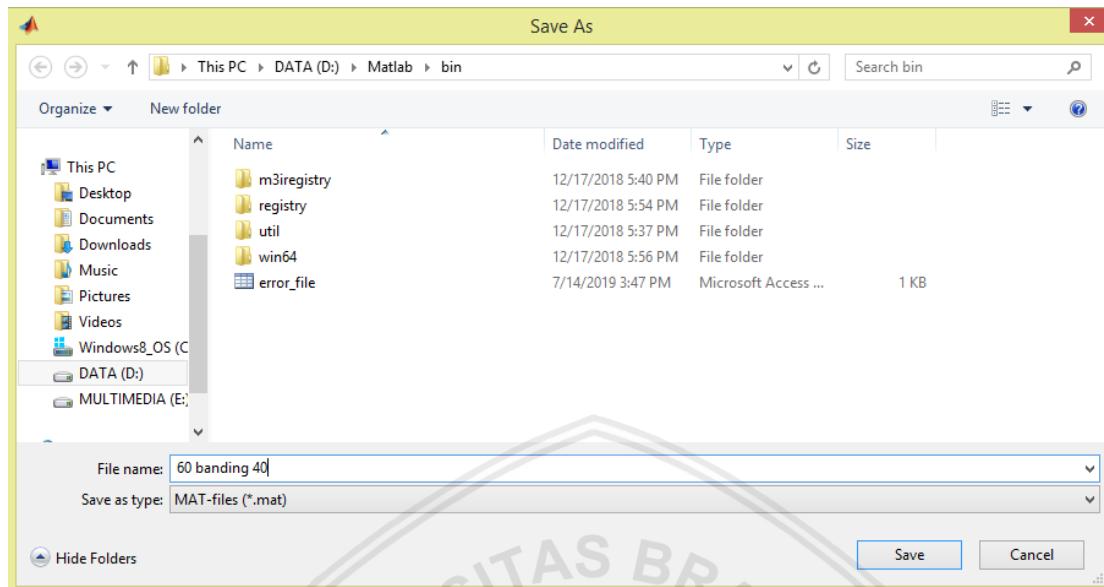
Sumber: Matlab R2015A

Variables - sampel														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	9.3500	14.8700	19.9600	25.9700	8.4000	7.2300	3.5100	4.8800	2.5700	4.4900	19.1100	30.7400	8.1200	12.1800
2	4.3600	4.5200	4.4800	4.6300	4.3000	3.8800	4.2800	4.6300	4.4400	4.0200	4.0300	3.8600	4.5600	4.0800
3														

Gambar 4.6 Jendela Variable “sampel”

Sumber: Matlab R2015A

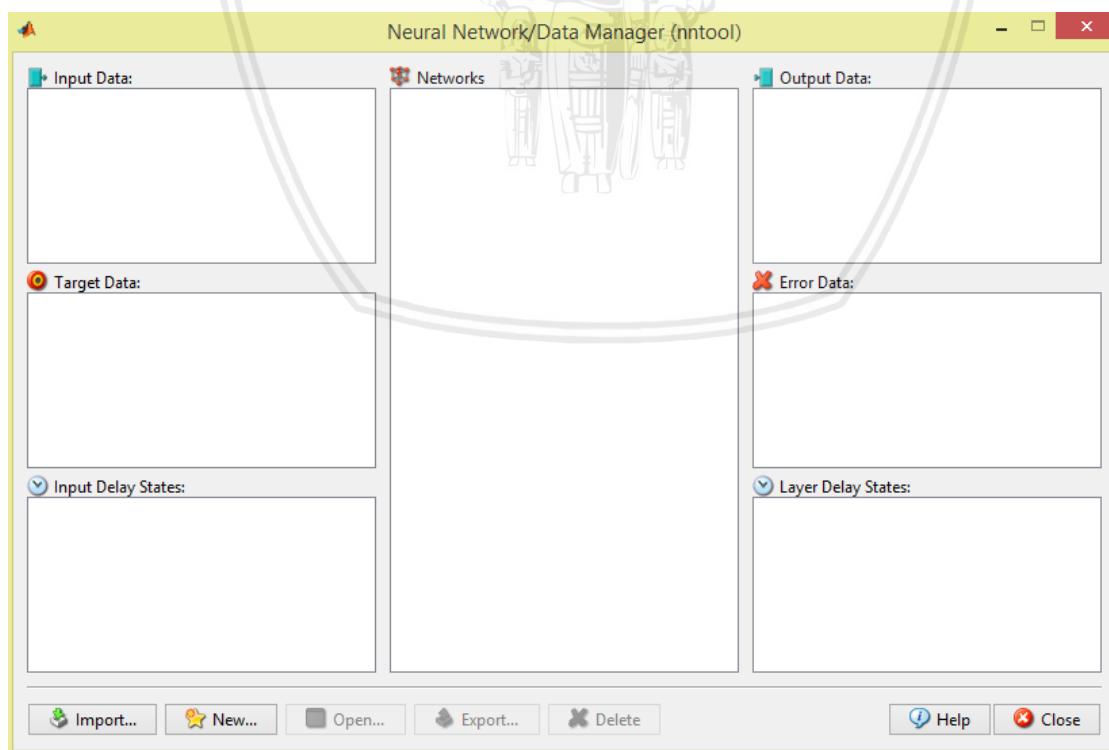
3. Untuk menyimpan variabel yang sudah diinput klik “*save workspace*” pada *home toolbar* dan beri nama “60 banding 40”



Gambar 4.7 Jendela Penyimpanan *Workspace*

Sumber: Matlab R2015A

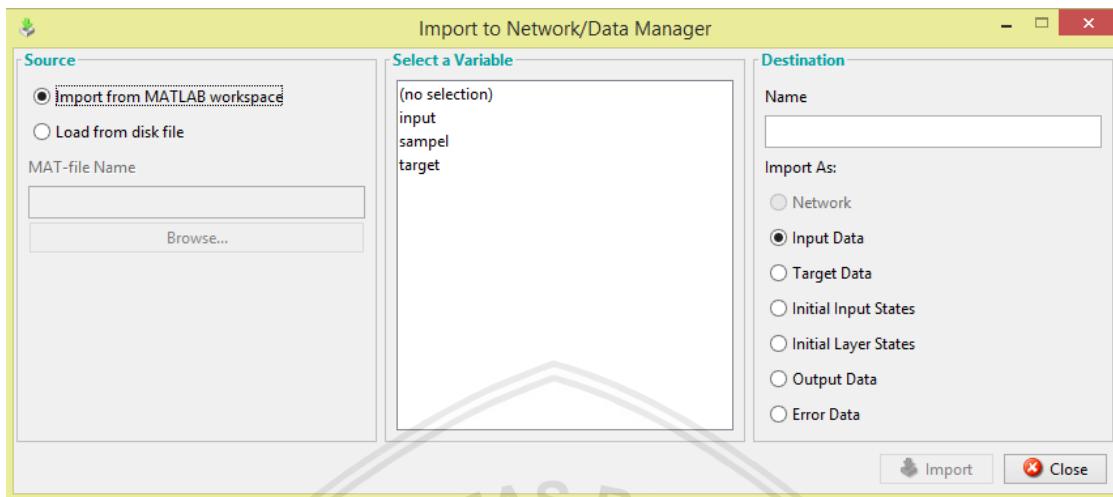
4. Selanjutnya mengimport data input dan target ke *network data/manager*, untuk memunculkan *network data/manager* ketik “nntool” pada jendela *command windows* lalu tekan *enter*



Gambar 4.8 Jendela *Network Data/Manager*

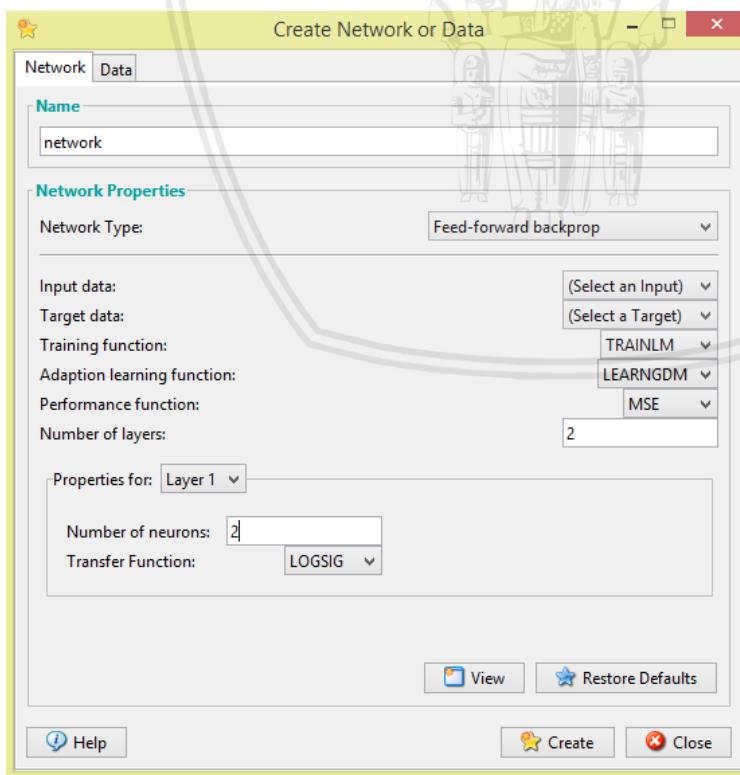
Sumber: Matlab R2015A

5. Import data input dan target pada workspace ke *network data/manager* dengan mengklik “import” kemudian kotak jendela import akan muncul setelah data selesai di import klik “close” untuk menutup jendela



Gambar 4.9 Jendela Import To Network Data/Manager  
Sumber: Matlab R2015A

6. Setelah mengimport data dari *workspace* langkah selanjutnya adalah mengkalibrasi jaringan, untuk mengkalibrasi jaringan klik *new* pada jendela *network data/manager* maka akan muncul jendela *Create network or data*



Gambar 4.10 Jendela Create Network Or Data  
Sumber: Matlab R2015A

Berikut hasil kalibrasi Jaringan Arsitektur:

Tabel 4.11

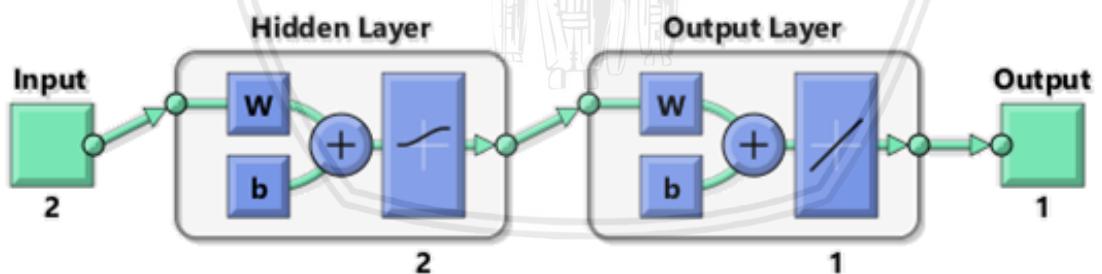
Hasil Kalibrasi Jaringan Arsitektur

Spesifikasi Jaringan Arsitektur	Hasil Pengaturan Kalibrasi
<i>Network type</i>	feed-forward backprop
<i>Input data</i>	Hujan rerata daerah, dan Evapotranspirasi
<i>Target data</i>	Debit sungai
<i>Training function</i>	TRAINLM
<i>Adaptation learning function</i>	LEARNGDM
<i>Performance function</i>	MSE
<i>Number of layer</i>	dicoba 2 dan 3 <i>layer</i>
<i>Number of neurons</i>	2 <i>neurons</i>
<i>Transfer function</i>	LOGSIG untuk <i>hidden layer</i> PURELIN untuk <i>output layer</i>

Sumber: Matlab R2015A

Dalam kalibrasi pembuatan jaringan arsitektur digunakan variasi jumlah *layer* sebanyak 2 dan 3. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah *layer* yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik, setelah kalibrasi jaringan selesai dibuat klik “create” kemudian “close”.

- Kembali pada jendela *network data/manager* klik “network” lalu *open* untuk membuka jaringan arsitektur yang telah dibuat, berikut merupakan jendela *network* untuk data bulanan



Gambar 4.11 Jendela Network

Sumber: Matlab R2015A

Persamaan pada jaringan arsitektur sebagai berikut:

$$z(p) = b + \sum_{i=1}^n x_i(p) \cdot w_i(p)$$

$$y_k(p) = b + \sum_{i=1}^n z_i(p) \cdot w_i(p)$$

Dengan :

$z$  = keluaran pada *hidden layer*

$v_k$  = keluaran pada *output layer*

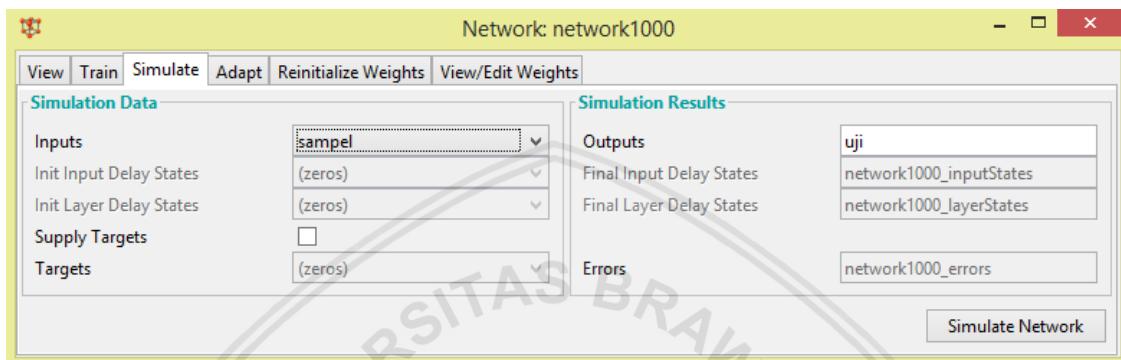
x = data *input*

w = bobot

b = bias

p = literasi ke

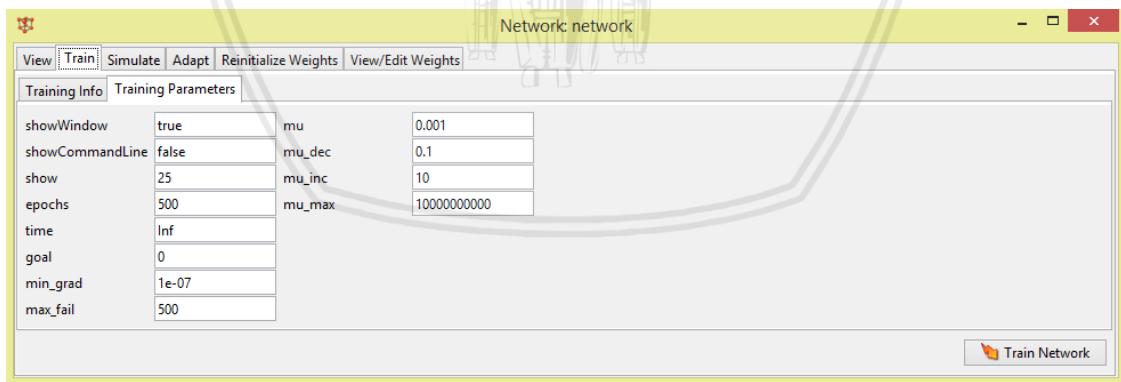
Pada variabel *train* pilih *training* info pilih “*input*” sebagai *input* dan “*target*” sebagai target. Pada pelatihan jaringan nantinya nilai bobot dan bias pada akan diperbarui.



Gambar 4.12 Jendela Network Training Info

Sumber: Matlab R2015A

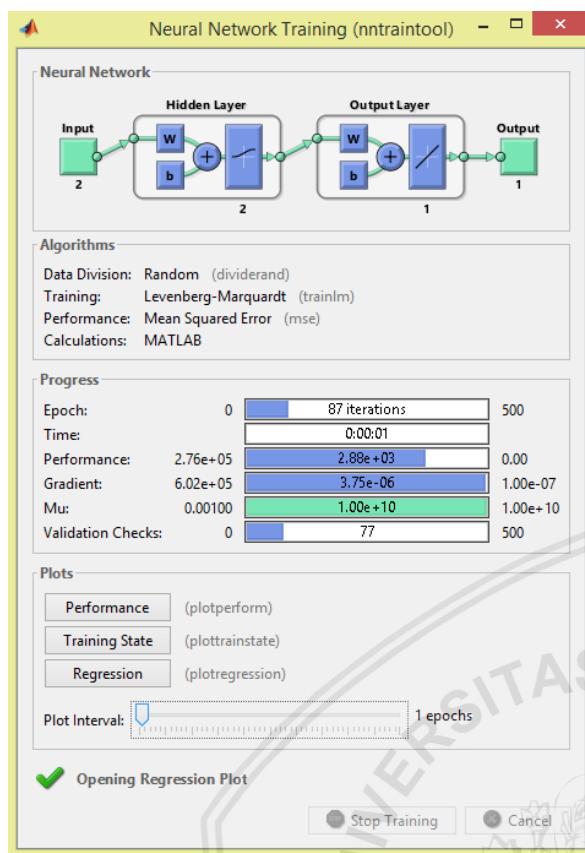
Pada variabel *train* parameter, pada kolom *epochs* dan *max fail* masukan angka 500, Dalam pempuatan jaringan untuk data harian maupun data bulanan menggunakan variasi jumlah *epochs* sebanyak 500, 1000, 1500, dan 2000. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah epochs yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik



Gambar 4.13 Jendela Network Training Parameter

Sumber: Matlab R2015A

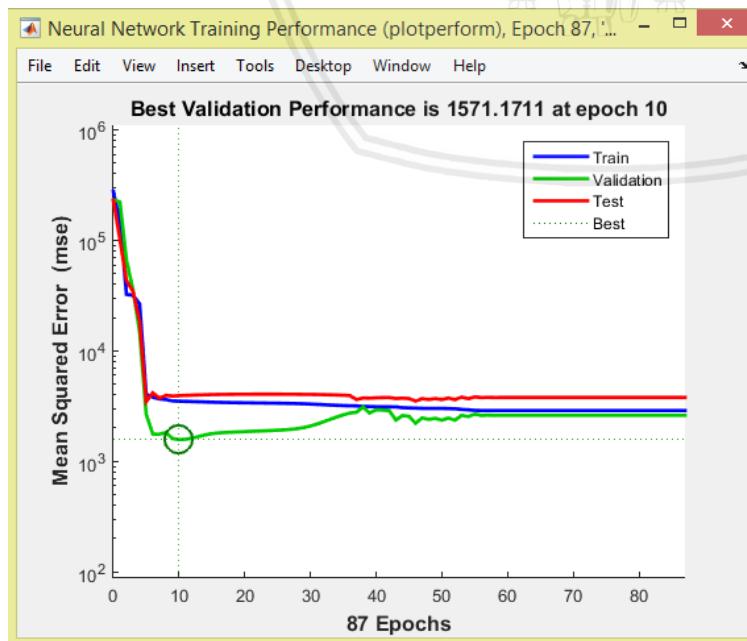
8. Setelah variabel *train* diisi selanjutnya klik *Train Network* untuk *training* jaringan arsitektur yang dibuat, training akan berhenti apabila *epoch*, *validation checks*, atau *Gradient* sudah terpenuhi, hasil *training* diplotkan dalam bentuk grafik, Berikut merupakan tampilan jendela *Neural Network Training*



Gambar 4.14 Jendela Network Training

Sumber: Matlab R2015A

Grafik *performance* merupakan grafik titik temu antara *training*, *test*, dan *validation* dengan nilai terbaik berdasarkan R yang mungkin dapat diperoleh dengan pertemuan *epoch* kesekian. Berikut merupakan tampilan dari grafik *performance*

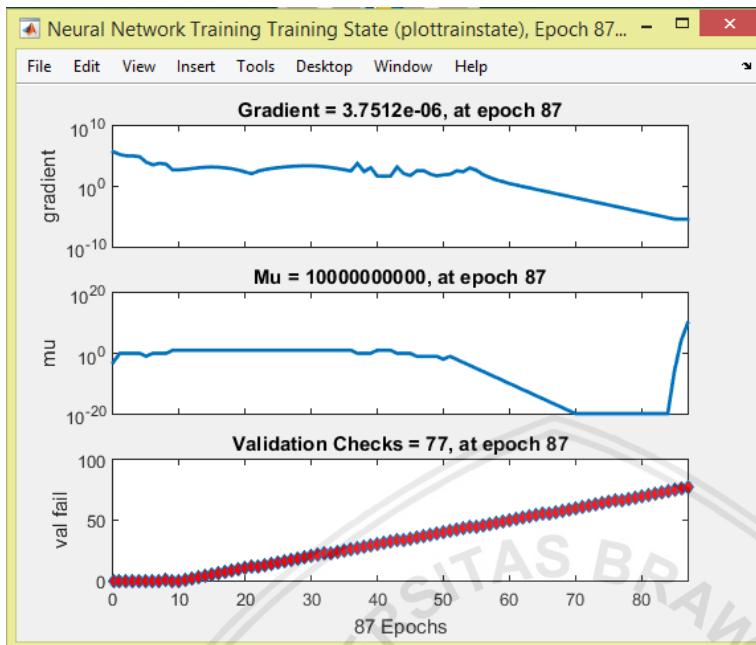


Gambar 4.15 Grafik *Performance*

Sumber: Matlab R2015A

Grafik *training state* merupakan grafik yang berisi *gradient*, *Mu*, dan *validation checks*.

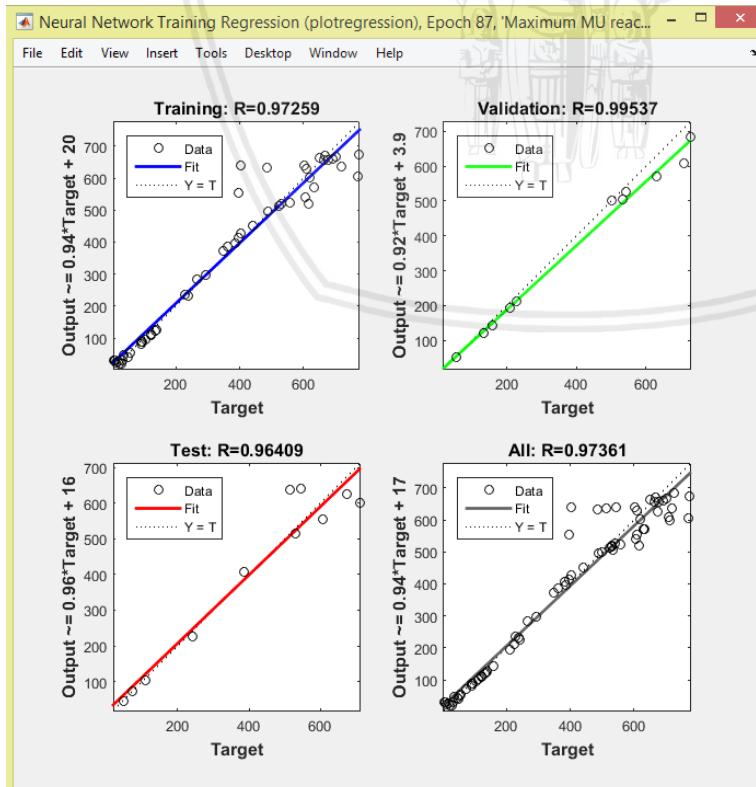
Berikut merupakan tampilan dari grafik *training state*



*Gambar 4.16 Grafik Training State*

Sumber: Matlab R2015A

Grafik *Regresion* merupakan grafik yang berisi regresi hasil dari proses *training*, *validation*, dan *test*. Berikut merupakan tampilan dari grafik *regresion*



*Gambar 4.17 Grafik Regresion*

Sumber: Matlab R2015A

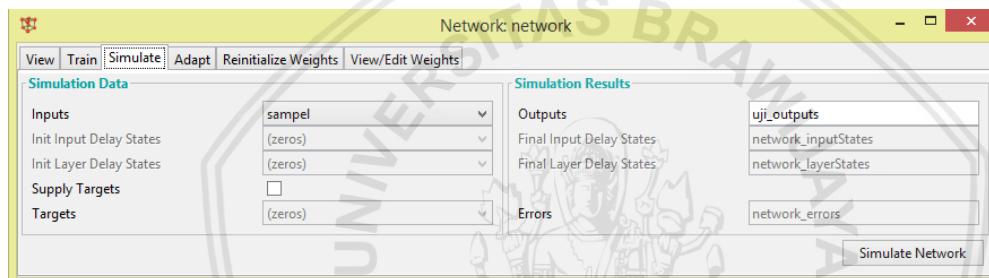
hasil training yang di anggap optimal, dengan nilai korelasi (R) diatas 0,9 dengan interpretasi hasil pelatihan jaringan arsitektur sangat kuat. Berikut tabel nilai regresi hasil pelatihan jaringan arsitektur:

Tabel 4.12  
Tabel Nilai Regresi (R)

Training	Validation	Test	All
0,97259	0,99537	0,96409	0,97631

Sumber: hasil proses Matlab R2015A

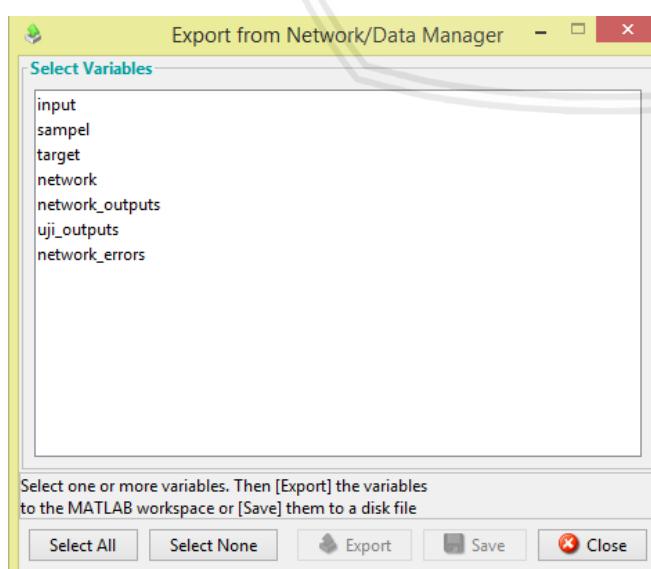
- Setelah hasil pelatihan jaringan arsitektur sudah memenuhi syarat dimana nilai regresi (R) > targer *error*, selanjutnya dilakukan pemodelan debit. Pada variabel *simulate* pilih “sampel” variabel ini berfungsi untuk memodelkan data debit dari hasil training dengan nilai optimasi yang telah ditentukan sebelumnya, Pada variabel ini akan dicoba data sampel tahun 2014-2017. Setelah data dipilih kemudian klik *Simulate Network*



Gambar 4.18 Jendela Network Simulate

Sumber: Matlab R2015A

- Langkah berikutnya yaitu mengekport data hasil *training*, Untuk mengekport buka kembali jendela *network/data manager* kemudian klik *ekxport*, pilih data yang akan di eksport kemudian klik *export* maka data yang di pilih akan dieksport ke *workspace*



Gambar 4.19 Jendela Export From Network/Data Manager

Sumber: Matlab R2015A

Workspace	
Name	Value
input	4x72 double
sampel	4x48 double
target	1x72 double
uji_outputs	1x48 double

Gambar 4.20 Jendela Workspace Dengan Data Yang Telah Dieksport  
Sumber: Matlab R2015A

11. Selanjutnya untuk menyalin data dari Matlab ke MS Excel langkah yang harus dilakukan adalah membuka workspace yang sudah di eksport kemudian blok data yang ini di salin kemudian klik kanan lalu pilih “Copy”

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
367.1635	568.8117	602.1222	664.2783	464.0803	200.1069	92.553	121.9285	83.7015	103.8287	623.5268	663.5545	320.2250	523.8417	426.9073	218.9379	180.1129	113.516

Gambar 4.21 Menyalin Data Dari Aplikasi Matlab R2015A ke MS Excel  
Sumber: Matlab R2015A

12. Selanjutnya hasil debit pemodelan direkapitulasi dengan debit AWLR guna perhitungan kesalahan dan perhitungan keandalan berikut merupakan tabel rekapitulasinya:

Tabel 4.13

Tabel Rekapitulasi Debit Pemodelan dengan Debit AWLR

Tahun	Bulan	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	
		Pemodelan	AWLR
2014	Jan	380,69	345,57
	Feb	550,53	549,63
	Mar	589,42	737,90
	Apr	598,31	451,09
	Mei	332,11	310,57
	Jun	248,07	267,43
	Jul	114,93	129,88
	Ags	184,12	180,45
	Sep	92,64	94,96
	Okt	137,28	165,96
	Nop	583,53	706,36
	Des	599,33	523,92

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Lanjutan Tabel 4.13  
Tabel Rekapitulasi Debit Pemodelan dengan Debit AWLR

Tahun	Bulan	Debit ( $m^3/dt$ )	
		Pemodelan	AWLR
2015	Jan	334,72	300,37
	Feb	477,10	450,14
	Mar	455,40	410,21
	Apr	324,78	283,02
	Mei	270,79	251,95
	Jun	157,69	178,08
	Jul	64,93	47,59
	Ags	51,21	32,34
	Sep	26,57	25,38
	Okt	23,25	56,77
	Nop	360,19	339,90
	Des	325,18	322,55
2016	Jan	549,18	555,00
	Feb	574,76	657,72
	Mar	596,42	480,25
	Apr	591,90	411,35
	Mei	590,41	506,34
	Jun	588,06	619,98
	Jul	539,37	539,62
	Ags	450,63	397,57
	Sep	712,99	666,32
	Okt	713,22	725,96
	Nop	712,02	698,95
	Des	562,95	611,29
2017	Jan	432,70	377,30
	Feb	563,85	568,51
	Mar	712,87	724,48
	Apr	598,09	576,15
	Mei	586,01	696,39
	Jun	591,47	821,97
	Jul	250,03	231,85
	Ags	335,82	300,49
	Sep	312,48	245,43
	Okt	541,66	509,14
	Nop	594,41	436,31
	Des	555,01	533,00

Sumber: Hasil Rekapitulasi

### 4.3 Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model

Debit hasil model dihitung nilai kesalahan dan keandalannya dengan 4 metode yaitu *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Error* (MAE), koefisien korelasi (R), dan *Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient* (NSE). Berikut tabel perhitungannya:

Tabel 4.14

Tabel Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model

Debit (m <sup>3</sup> /dt)	KR (%)	Qo-Qm	(Qo-Qm) <sup>2</sup>	(Qo-Qo <sub>rerata</sub> ) <sup>2</sup>	(Qo) <sup>2</sup>	(Qm) <sup>2</sup>	(Qo.Qm)
Model AWLR							
380,69	345,57	9,23	35,12	1233,42	5213,89	119419,67	144926,09
550,53	549,63	0,16	0,89	0,80	17385,40	302095,87	303078,77
589,42	737,90	25,19	148,48	22045,14	102474,43	544489,11	347414,76
598,31	451,09	24,61	147,22	21674,15	1109,74	203483,61	357978,45
332,11	310,57	6,49	21,54	464,09	11494,34	96451,93	110296,92
248,07	267,43	7,81	19,36	374,98	22603,92	71520,30	61537,88
114,93	129,88	13,01	14,95	223,59	82885,69	16868,82	13208,24
184,12	180,45	1,99	3,67	13,45	56325,64	32561,68	33898,44
92,64	94,96	2,50	2,32	5,37	104213,82	9016,86	8582,15
137,28	165,96	20,89	28,68	822,59	63413,80	27541,99	18844,97
583,53	706,36	21,05	122,82	15085,25	83276,42	498937,83	340511,11
599,33	523,92	12,58	75,41	5686,38	11265,83	274491,53	359193,45
334,72	300,37	10,26	34,35	1179,59	13784,84	90222,09	112034,20
477,10	450,14	5,65	26,96	726,99	1047,08	202623,72	227624,60
455,40	410,21	9,92	45,18	2041,42	57,24	168275,00	207384,97
324,78	283,02	12,86	41,76	1744,04	18159,18	80101,89	105484,97
270,79	251,95	6,96	18,84	355,10	27499,79	63477,88	73328,42
157,69	178,08	12,93	20,39	415,76	57454,01	31713,60	24867,05
64,93	47,59	26,71	17,35	300,88	137042,03	2264,51	4216,28
51,21	32,34	36,86	18,88	356,40	148566,59	1045,58	2622,86
26,57	25,38	4,47	1,19	1,41	153978,61	644,03	705,70
23,25	56,77	144,17	33,52	1123,62	130327,10	3222,87	540,56
360,19	339,90	5,63	20,29	411,56	6065,35	115530,96	129733,59
325,18	322,55	0,81	2,63	6,91	9067,90	104040,62	105742,88
549,18	555,00	1,06	5,82	33,91	18830,09	308026,73	301597,13
574,76	657,72	14,43	82,96	6882,81	57573,72	432600,90	330350,55
596,42	480,25	19,48	116,17	13496,44	3902,03	230635,26	355715,86
591,90	411,35	30,50	180,55	32598,75	41,29	169211,43	350350,82
590,41	506,34	14,24	84,07	7067,80	7842,63	256377,58	348581,13
588,06	619,98	5,43	31,91	1018,39	40883,74	384370,30	345819,03
539,37	539,62	0,05	0,24	0,06	14844,39	291185,77	290923,13
450,63	397,57	11,78	53,06	2815,69	408,35	158062,88	203071,27
712,99	666,32	6,55	46,67	2178,32	61771,48	443978,97	508354,74
							475077,69

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Lanjutan Tabel 4.14

Tabel Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model

Debit (m <sup>3</sup> /dt)	KR (%)	Qo-Qm	(Qo-Qm) <sup>2</sup>	(Qo-Qo <sub>rerata</sub> ) <sup>2</sup>	(Qo) <sup>2</sup>	(Qm) <sup>2</sup>	(Qo.Qm)
Model	AWLR						
713,22	725,96	1,79	12,74	162,35	94976,22	527019,23	508681,77
712,02	698,95	1,84	13,08	171,01	79055,45	488526,62	506977,89
562,95	611,29	8,59	48,34	2336,97	37448,46	373681,37	316915,63
432,70	377,30	12,81	55,41	3070,11	1638,85	142352,35	187233,36
563,85	568,51	0,83	4,66	21,73	22721,33	323209,02	317930,66
712,87	724,48	1,63	11,62	134,97	94067,72	524876,19	508177,79
598,09	576,15	3,67	21,94	481,28	25082,55	331952,86	357713,44
586,01	696,39	18,84	110,38	12184,60	77624,60	484960,00	343403,97
591,47	821,97	38,97	230,50	53128,58	163370,92	675635,45	349841,61
250,03	231,85	7,27	18,18	330,61	34568,79	53755,32	62517,25
335,82	300,49	10,52	35,34	1248,58	13756,85	90293,75	112778,03
312,48	245,43	21,46	67,04	4494,69	29702,63	60237,99	97641,69
541,66	509,14	6,00	32,51	1057,21	8347,60	259227,62	293394,15
594,41	436,31	26,60	158,11	24997,24	343,25	190362,70	353324,32
555,01	533,00	3,97	22,01	484,44	13275,26	284085,90	308032,99
jumlah	-	-	2345,1	246689,4	2166790,8	10544668,1	10753085,5
rerata	417,78	-	-	-	-	-	-
MSE				5139,36			
MAE				48,86			
R				0,94			
NSE				0,89			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Debit Model lainnya bisa di lihat di **lampiran 1**.

#### 4.3.1 Mean Square Error (MSE)

Berdasarkan Persamaan (2 – 51) diperoleh perhitungan *Mean Square Error*, berikut contoh perhitungan *Mean Square Error*:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_o - Q_m)^2$$

$$MSE = \frac{1}{48} 246689,4$$

$$MSE = 5139,36$$

#### 4.3.2 Mean Absolute Error (MAE)

Berdasarkan Persamaan (2 – 52) diperoleh perhitungan *Mean Absolute Error* berikut contoh perhitungan *Mean Absolute Error*:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_o - Q_m|$$

$$MAE = \frac{1}{48} \cdot 2345,1$$

$$MAE = 48,86$$

#### 4.3.3 Koefisien Korelasi (R)

Berdasarkan Persamaan (2 - 54) diperoleh perhitungan Koefisien korelasi, berikut contoh perhitungan Koefisien korelasi:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N Q_o Q_m - \sum_{i=1}^N Q_o \cdot \sum_{i=1}^N Q_m}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_o^2 - (\sum_{i=1}^N Q_o)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Q_m^2 - (\sum_{i=1}^N Q_m)^2}}$$

$$R = \frac{10525532,1 - 20053,38 \times 20539,09}{\sqrt{48 \times 10544668,1 - 20053,38^2} \sqrt{48 \times 10753085,5 - 20539,09^2}}$$

$$R = 0,94 \text{ (sangat kuat)}$$

#### 4.3.4 Kesalahan relatif (KR)

Berdasarkan Persamaan (2 - 53) diperoleh perhitungan Kesalahan Relatif, berikut contoh perhitungan pada bulan januari 2014:

$$KR = \frac{Q_o - Q_m}{Q_o} \cdot 100\%$$

$$KR = \left| \frac{345,57 - 380,69}{345,57} \right| \cdot 100\%$$

$$KR = 9,23\%$$

#### 4.3.5 Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NSE)

Berdasarkan Persamaan (2 - 53) diperoleh perhitungan keandalan Jaringan Arsitektur menggunakan Nash - Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NSE), berikut contoh perhitungannya :

$$NSE = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_m)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

$$NSE = 1 - \frac{246689,4}{2166790,8}$$

$$NSE = 0,89 \text{ (baik)}$$

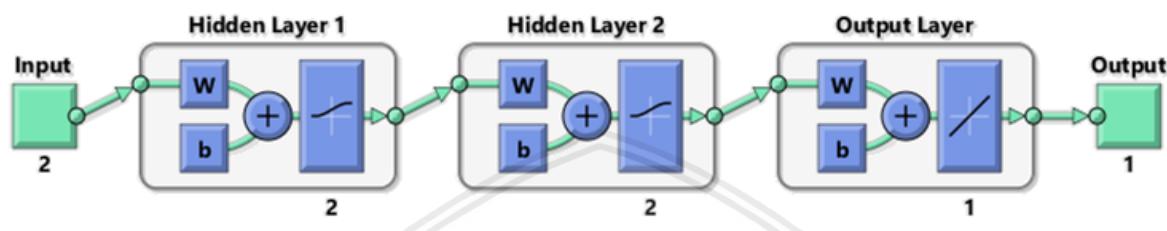
Setelah dilakukan kalibrasi pembuatan jaringan arsitektur dan dilakukan kombinasi pembagian data latih dan data uji, *layer* dan *epochs*, didapat 32 kombinasi jaringan arsitektur, berikut rekapitulasi perhitungan kesalahan dan keandalan dari tiap jenis jaringan arsitektur:

Tabel 4.15  
Hasil Perhitungan Kesalahan dan Keandalan Jaringan Arsitektur

data latih 6 tahun dan data uji 4 tahun					
Layer	EPOCH	MSE	MAE	R	NSE
2	500	5139,36	48,86	0,94	0,886
	1000	5667,52	49,59	0,94	0,874
	1500	6350,39	52,60	0,93	0,859
	2000	5566,15	48,94	0,94	0,877
3	500	6012,89	54,32	0,93	0,867
	1000	5614,99	46,95	0,94	0,876
	1500	7032,35	47,98	0,93	0,844
	2000	5063,48	44,45	0,94	0,888
data latih 7 tahun dan data uji 3 tahun					
Layer	EPOCH	MSE	MAE	R	NSE
2	500	6923,75	57,83	0,93	0,844
	1000	5492,79	50,03	0,94	0,876
	1500	5579,78	49,99	0,94	0,874
	2000	5112,74	45,14	0,94	0,885
3	500	5812,13	54,63	0,93	0,869
	1000	<b>4390,98</b>	<b>37,48</b>	<b>0,95</b>	<b>0,901</b>
	1500	5214,35	44,80	0,94	0,882
	2000	4621,24	41,79	0,95	0,896
data latih 8 tahun dan data uji 2 tahun					
Layer	EPOCH	MSE	MAE	R	NSE
2	500	6933,23	56,79	0,84	0,703
	1000	7610,55	61,68	0,83	0,674
	1500	8060,65	63,44	0,81	0,655
	2000	6933,23	56,79	0,84	0,703
3	500	7236,13	58,93	0,83	0,690
	1000	8015,20	57,80	0,81	0,657
	1500	7836,61	62,43	0,83	0,664
	2000	7603,57	55,89	0,83	0,674
data latih 9 tahun dan data uji 1 tahun					
Layer	EPOCH	MSE	MAE	R	NSE
2	500	4149,72	30,33	0,87	0,751
	1000	3991,25	27,24	0,88	0,760
	1500	3114,75	24,06	0,93	0,813
	2000	4143,37	31,19	0,87	0,751
3	500	3860,36	28,40	0,88	0,768
	1000	4266,93	27,05	0,88	0,744
	1500	4077,85	28,01	0,88	0,755
	2000	4144,23	28,13	0,88	0,751

Sumber: Hasil Rekapitulasi

Dari hasil kalibrasi pembuatan arsitektur jaringan dan dilakukan pelatihan jaringan serta pengujian kesalahan dan keandalan debit model didapat persamaan jaringan dengan hasil keandalan terbaik, yaitu pola persamaan jaringan (2-2-1) dengan jumlah *input* pada *input layer* sebanyak 2 ( $x_1$  dan  $x_2$ ) yaitu hujan rerata daerah, dan evapotranspirasi, dengan 2 *hidden layer* ( $z_1$  dan  $z_2$ ) dengan 2 neuron, dan 1 *output layer* ( $y_i$ ), Serta dengan data latih sebanyak 7 tahun dan data uji sebanyak 3 tahun, pada jumlah *epochs* 1000 didapat hasil keandalan berdasarkan nilai NSE sebesar 0,901 dan nilai koefisien korelasi sebesar 0,95



Gambar 4.22 Jaringan Arsitektur (2-2-1)

Sumber: Matlab R2015A

Berdasarkan jaringan arsitektur terbaik didapat persamaan pada jaringan arsitektur sebagai berikut:

*Hidden layer 1*

$$z_1 = (-0.792) + x_1 \cdot 0,749 + x_2 \cdot 0,0077$$

$$z_2 = 1,960 + x_1 \cdot (-9,451) + x_2 \cdot 0,836$$

*Hidden layer 2*

$$z_3 = (-0,751) + z_1 \cdot 9,927 + z_2 \cdot (-1,172)$$

$$z_4 = 7,829 + z_1 \cdot 10,911 + z_2 \cdot (-13,734)$$

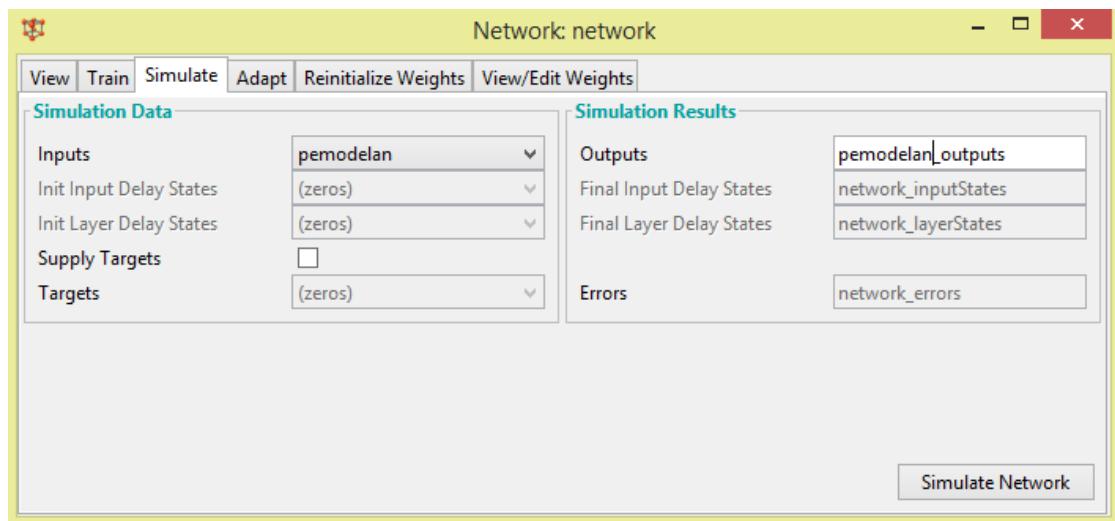
*Output layer*

$$y = (-4,015) + z_1 \cdot 6,749 + z_2 \cdot (-1,855)$$

#### 4.4 Pemodelan Debit Tahun 2018

Setelah didapat perbandingan data latih dan data uji serta jaringan arsitektur terbaik langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan debit tahun mendatang pada studi ini data pemodelan menggunakan data hujan rerata dan data evapotranspirasi tahun 2018 berikut merupakan langkah – langkah melakukan pemodelan:

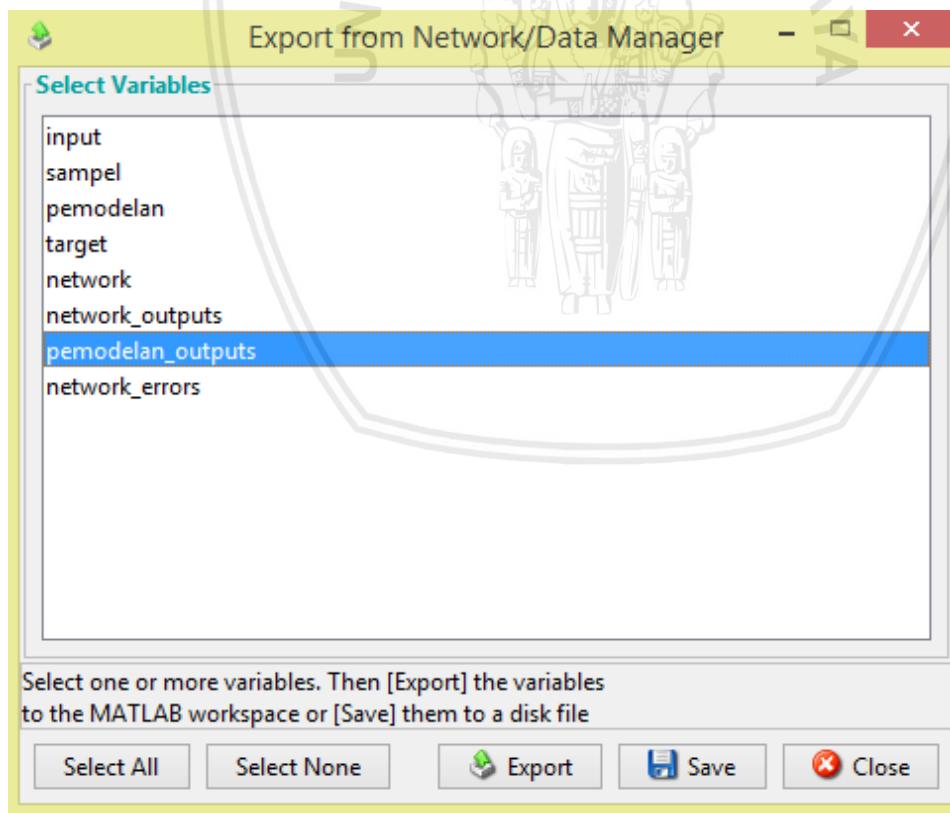
1. kembali pada variabel *simulate* pilih “pemodelan” sebagai data input data ini nanti akan digunakan sebagai pemodelan data debit dari hasil training dengan nilai optimasi yang telah ditentukan sebelumnya, setelah data dipilih kemudian klik *Simulate Network*



Gambar 4.23 Jendela Network Simulate

Sumber: Matlab R2015A

2. setelah dilakukan pemodelan selanjutnya mengekport data hasil pemodelan, untuk mengekport buka kembali jendela *network/data manager* kemudian klik *ekport*, pilih data yang akan di eksport kemudian klik *export* maka data yang di pilih akan dieksport ke *workspace*



Gambar 4.24 Jendela Export From Network/Data Manager

Sumber: Matlab R2015A

3. Setelah dieksport hasil pemodelan kemudian direkapitulasi, berikut merupakan rekapitulasi hasil data pemodelan pada tahun 2018:

Tabel 4.16  
Hasil Pemodelan Data Debit Tahun 2018

Tahun	Bulan	Debit m <sup>3</sup> /dt
2018	Jan	458,73
	Feb	379,77
	Mar	505,90
	Apr	553,30
	Mei	213,21
	Jun	233,14
	Jul	116,92
	Ags	77,09
	Sep	54,15
	Okt	240,70
	Nop	291,73
	Des	461,44
Rerata		298,84
Max		553,30
Min		54,15

Sumber: Matlab R2015A

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB V

### PENUTUP

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan berdasarkan rumusan masalah yang ada pada studi ini, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil Kalibrasi pemodelan debit menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dilakukan pembuatan jaringan arsitektur sebanyak 32 jaringan, dengan mencoba berbagai kombinasi pembagian data pelatihan dan data uji dengan perbandingan perbandingan 6 tahun / 4 tahun, 7 tahun / 3 tahun, 8 tahun / 2 tahun, 9 tahun / 1 tahun, dengan mencoba kombinasi jumlah *layer* sebanyak 2 dan 3 *layer*, serta dengan mencoba jumlah *Epoch* sebesar 500, 1000, 1500, 2000 *Epoch*. Didapat persamaan pola jaringan arsitektur 2 *input data*, 2 *hidden later*, 1 *output layer* (2-2-1) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 5.1

Hasil Kalibrasi Jaringan Arsitektur

Spesifikasi Jaringan Arsitektur	Hasil Pengaturan Kalibrasi
<i>Network type</i>	feed-forward backprop
<i>Input data</i>	Hujan rerata daerah, dan Evapotranspirasi
<i>Target data</i>	Debit sungai
<i>Training function</i>	TRAINLM
<i>Adaptation learning function</i>	LEARNGDM
<i>Performance function</i>	MSE
<i>Number of layer</i>	3 <i>layer</i>
<i>Number of neurons</i>	2 <i>neurons</i>
<i>Transfer function</i>	LOGSIG untuk <i>hidden layer</i> PURELIN untuk <i>output layer</i>

Sumber: Matlab R2015A

2. Berdasarkan hasil Verifikasi jaringan arsitektur dengan pola jaringan 2 *input data*, 2 *hidden later*, 1 *output layer* (2-2-1) dengan komposisi jumlah pembagian data latih dan data uji dengan perbandingan 7 tahun / 3 tahun, serta jumlah *Epoch* sebesar 1000 *Epoch* memiliki hasil terbaik dimana debit model dan debit lapangan memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi pada jaringan ini memiliki nilai sebesar 0,95

3. Berdasarkan hasil Verifikasi jaringan arsitektur dengan pola jaringan 2 *input data*, 2 *hidden later*, 1 *output layer* (2-2-1) dengan komposisi jumlah pembagian data latih dan data uji dengan perbandingan 7 tahun / 3 tahun, serta jumlah *Epoch* sebesar 1000 *Epoch* memiliki hasil terbaik dimana debit model termasuk dalam kategori keandalan baik dengan nilai NSE sebesar 0,901

## 5.2 Saran

Berdasarkan pemodelan debit pada sungai Kahayan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan maka disarankan beberapa hal berikut:

1. Dari hasil pemodelan debit pada sungai Kahayan menggunakan jaringan syaraf tiruan dapat dijadikan masukan untuk perencanaan normalisasi bangunan pengendali banjir di daerah sungai Kahayan.
2. Analisa yang digunakan pada saat *training* jaringan arsitektur dapat divariasikan dengan metode-metode yang lainnya sehingga keandalan hasil debit model dapat lebih ditingkatkan.
3. Selain menggunakan data curah hujan dan data klimatologi data-data pendukung lain yang berhubungan juga dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan hasil pemodelan debit.

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PEMODELAN DEBIT SUNGAI KAHAYAN MENGGUNAKAN**  
**JARINGAN SYARAF TIRUAN BERDASARKAN DATA HUJAN DAN**  
**EVAPOTRANSPIRASI**

**SKRIPSI**

KONSENTRASI PENGETAHUAN DASAR TEKNIK SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JANO ALPIKARIGO**  
**NIM. 155060401111006**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 24 Oktober 2019.

**Pembimbing I**

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

**Pembimbing II**

**Dr. Ir. Widandi Soetopo, M.Eng**  
NIP. 19550226 198503 1 002

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Pengairan**



**Dr. Liqessy Andawavanti, MS.**  
NIP. 19610131 198609 2 001

## DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. (2004). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (Edisi Ke-2). Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hadisusanto, Nugroho. (2010). *Aplikasi Hidrologi*. Yogyakarta : Jogja Media Utama.
- Harto, Sri. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kusumadewi, Sri. (2013). *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Motovilov, Y.G., dkk. (1999). *Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations*. Elsevier Agricultural and Forest Meteorology.
- Republik Indonesia. (2012). *Keputusan Pemerintah Nomor 12 Tentang Penetapan Wilayah Sungai*. Sekretariat RI. Jakarta.
- Siang, J. J. (2004). *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta : ANDI.
- Soemarto, CD. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional
- Soewarno. (1995). *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 1]*. Bandung : Nova.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data [Jilid 2]*. Bandung : Nova.
- Sosrodarsono, Takeda. (2003). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- T. Sutojo, dkk. (2011). *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : ANDI.
- Shih, Chung. (2008). *The Development of A Cfm Hybrid Artificial Sale Forecasting Model*. Institute of Information Management National Cheng Kung University Tainan. Taiwan.
- Zheng, Zhong. (2011). *Time Series Forecasting Using A Hybrid RBF Neural Network and AR Model Based on Binomial*. Engineering and Technology International Journal of Mathematical.
- Maind, Wankar. (2014). *Research Paper on Basic of Artificial Neural Network*. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication.

Halaman ini sengaja dikosongkan

