

DISERTASI

**SISTEM PAKAR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN
DENGAN TINJAUAN TEKNIK EKSPLORASI
TERBAIK PADA DERET DATA**

*EXPERT SYSTEM FOR RAINFALL PREDICTION
FINDING BEST EXPLORATION METHOD FOR DATA
SERIES*

INDRASAYU



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

SISTEM PAKAR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN TINJAUAN TEKNIK EKSPLORASI TERBAIK PADA DERET DATA

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

INDRABAYU

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

DISERTASI

**SISTEM PAKAR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN
DENGAN TINJAUAN TEKNIK EKSPLORASI TERBAIK
PADA DERET DATA**

Disusun dan diajukan oleh

INDRABAYU

Nomor Pokok P0800310044

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 21 Juni 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Pembimbing,

Prof.Dr.Ir.H. Nadjamuddin Harun, MS

Promotor

Prof.Dr.Ir.H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng
Co-promotor

Dr.Ir.H. Andani Achmad, MT
Co-promotor

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,

Prof.Dr.Ir.H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : INDRABAYU
Nomor mahasiswa : P0800310044
Program studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, Juni 2013

Yang menyatakan

INDRABAYU



PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah serta karunia ilmu-Nya yang tak terbatas sehingga hasil penelitian dengan judul “SISTEM PAKAR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN TINJAUAN TEKNIK EKSPLORASI TERBAIK PADA DERET DATA” ini dapat terselesaikan. Penyelesaian disertasi ini merupakan sebuah proses panjang yang membutuhkan tambahan energi, dan upaya kerja keras dengan manajemen waktu yang tepat.

Sungguh kami sadar bahwa tidak ada hasil yang baik tanpa bantuan dan kerja sama dengan orang lain serta tidak terlepas dari dorongan keluarga dan para sahabat yang tiada henti-hentinya memberikan semangat untuk menyelesaikan studi ini. Terima kasih kepada kedua orang tua kami almarhum H.B. Amirullah dan H.A. ST. Maerani. Istri dan anak tercinta, Sitti Wetenriajeng, Naufal dan Nashwan. Mertua kami yang selalu sabar dan mendukung kami. Serta keluarga besar H.B. Amirullah dan Sidehabi. Disertasi ini lahir dari hasil diskusi dengan para ahli baik dari Perguruan Tinggi, LAPAN, BMKG maupun para praktisi dan pencinta lingkungan. Namun kami sadar bahwa disertasi ini tidak akan mungkin selesai tanpa bimbingan, petunjuk, ridha dan izin Allah SWT. Oleh karena itu melalui Izin-Nya pula ingin saya sampaikan dari hati yang paling dalam rasa terima kasih yang tak terhingga kepada Prof.Dr.Ir.H. Nadjamuddin Harun, MS sebagai promotor yang selama ini memiliki kesibukan luar biasa, namun selalu menyediakan waktunya untuk membimbing kami.

Demikian pula kepada Bapak Prof.Dr.Ir.H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng Co-Promotor-1 yang banyak meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan memberikan masukan dalam penentuan judul penelitian ini. Hal yang sama ingin saya haturkan pula kepada bapak Dr.Ir.H. Andani Achmad, MT, sebagai Co-Promotor-2 yang telah memberi masukan dan arahan untuk tercapainya tujuan penelitian yang diharapkan.

Terima kasih juga kami sampaikan kepada rektor dan para wakil rektor Universitas Hasanuddin, direktur Pasca Sarjana Unhas, Dekan dan para wakil dekan Fakultas Teknik Unhas, para dosen pasca sarjana dan para staf administrasi pada Pasca Sarjana Fakultas Teknik Unhas yang turut membantu dalam proses perkuliahan hingga proses terlaksananya seminar ini. Tidak lupa kami mengucapkan terima kasih pada teman-teman angkatan S3 Teknik Sipil, utamanya angkatan 2010 dan 2011.

Dan akhirnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik moral maupun material, serta segala ketulusan dan keikhlasan dengan mengorbankan sebagian waktu, pikiran dan tenaganya, kami hanya dapat berdoa semoga Allah swt dapat membalasnya sebagai bagian dari amal ibadah kepada-Nya, Amin.

Makassar, Juni 2013

Indrabayu

ABSTRAK

INDRABAYU. *Sistem Pakar Untuk Prediksi Curah Hujan dengan Tinjauan Teknik Eksplorasi Terbaik pada Deret Data* (dibimbing oleh Nadjamuddin Harun, Muhammad Saleh Pallu, Andani Achmad)

Indonesia sebagai negara tropis memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Peranannya dalam berbagai kehidupan manusia cukup vital, sehingga usaha untuk dapat memahami karakteristik sampai dengan memprediksi waktu serta durasi hujan menjadi penting sebagai informasi pendukung dan pengambilan keputusan. Dalam disertasi ini diteliti berbagai model prediksi hujan baik pendekatan statistik maupun kecerdasan buatan untuk kota Makassar berdasarkan unsur meteorologi yang tercatat di BMKG Makassar dari tahun 2001-2010.

Metode yang diusulkan dapat dikategorikan menjadi dua bagian berdasarkan keluaran prediksi yang diharapkan yaitu kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan model prediksi *state of the art* yaitu pendekatan statistik ARIMA dan ASTAR serta hybrid kecerdasan buatan wavelet-NN dan GA-NN. Pendekatan Kualitatif menggunakan ANFIS, JST-Fuzzy dan usulan kebaruan dalam penelitian ini yaitu SVM-Fuzzy. Sebelum pelatihan, unsur meteorologi terlebih dahulu diuji statistik korelasinya terhadap curah hujan. Dari hasil uji diputuskan Kelembaban, temperatur dan kecepatan angin sebagai input pelatihan karena memiliki korelasi tertinggi.

Keakuratan prediksi diukur dengan beberapa parameter berdasarkan pendekatannya. Prediksi dengan pendekatan kuantitatif divalidasi dari nilai prediksi curah hujan (mm/hr) yang diadaptasikan terhadap *trend chart* serta nilai *root mean square error* (RMSE). Sedangkan pendekatan kualitatif diukur dari persentase ketepatan logika samar menentukan rentang/kategori curah hujan serta deviasi prediksi terhadap aktual dalam bentuk *trend*.

Hasilnya menunjukkan ASTAR memiliki keakuratan prediksi yang lebih unggul dalam pendekatan kuantitatif dengan nilai RMSE terkecil serta *trend* prediksi terhadap aktual yang paling baik. Untuk pendekatan kualitatif, metode kebaruan SVM-Fuzzy lebih unggul dari dua model lainnya dengan persentase prediksi mencapai 80% serta deviasi *trend* yang lebih baik.

ABSTRACT

INDRABAYU. *Expert System in Finding Best Exploration Techniques for Rainfall Forecasting Based on Data Series* (Supervised by Nadjamuddin Harun, Muhammad Saleh Pallu, Andani Achmad)

Indonesia is tropical country with high rainfall events. It has vital roles in almost living sectors. Hence, efforts in understanding and comprehending rain characteristic and duration have been conducting through many researches for decades. This dissertation aiming on finding best exploration methods from several predicting system, both from artificial intelligence and statistic approach. The prediction is based on empirical data series and using various meteorology parameters.

The elucidating of dissertation is divided into two categories i.e. quantitative and qualitative approaches. Both are using state of the art of hybrid artificial intelligence (AI) and statistic approach. In AI, wavelet-NN and GA-NN are implemented, while statistic approach incorporated ARIMA and ASTAR. Qualitative approach introducing ANFIS, Neural Network-Fuzzy Logic (NN-FL) and novelty proposed in this dissertation, Support Vector Machine-Fuzzy Logic (SVM-FL). For optimum result and reducing time processing, correlation among meteorological parameters are conducted to find highest correlation to rain fall.

Accuracy are defined by some parameters depend on the research approach. Quantitative approach are validated based on accuracy in predicting quantitative value of rain fall (mm/h) and adapted to chart *trend* and root mean square error (RMSE). While qualitative approach are measured on precise percentage and rainfall category. The deviation between prediction and actual data can also be shown from *trend* chart.

The results shows ASTAR has higher accuracy with lowest RMSE and better matching pattern between actual and prediction. For qualitative approach the propose SVM-Fuzzy outperform the other methods which reach 80% accuracy and a better deviation *trend*.

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	12
C. Tujuan Penelitian	12
D. Manfaat Penelitian	13
E. Revisi	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
A. Proses Presipitasi (Hujan)	16
1. Hydrologic Cycle	16
2. Evaporasi (Penguapan)	18
3. Hujan	20
B. Klasifikasi Hujan	23
C. Curah Hujan	27

D. Pengukuran Curah Hujan Menggunakan <i>Rain Gauge</i> ..	28
1. <i>Rain Gauge Non Recording</i>	28
2. <i>Rain Gauge Recording</i>	29
E. Pengukuran Curah Hujan Menggunakan Radar dan Satelit	32
F. Menentukan Besaran Curah Hujan	33
G. Peramalan Curah Hujan	36
1. <i>Time-Series</i>	37
2. Analisis Regresi.....	40
3. ARIMA (<i>Auto Regressive integrated Moving Average</i>)	40
4. ANN (<i>Artificial Neural Network</i>).....	42
5. <i>Hidden Layer</i> dan Neuron	46
6. <i>Algoritma Back Propagation</i>	46
7. Fungsi Aktivasi.....	47
8. <i>Preprocessing</i> dan <i>Postprocessing</i>	49
9. Training Pada <i>Back Propagation</i>	50
H. Variabel Data untuk Peramalan Curah Hujan.....	53
1. Intensitas Sinar Matahari.....	53
2. Temperatur	55
3. Kelembaban Udara.....	57
4. Tekanan Udara	58

5. Angin.....	60
6. Curah Hujan.....	62
I. Kerangka Pikir Penelitian	64
BAB III METODE PENELITIAN	66
A. Pengumpulan Data.....	66
1. Jenis data	66
2. Teknik Pengambilan Data	69
3. Metode Analisis.....	73
B. Metodologi.....	75
C. ARIMA (<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>)....	77
1. Metode ARIMA.....	78
2. Stasioneritas Data	79
3. Tahapan Metode ARIMA.....	80
4. Menentukan Hubungan Parameter Meteorologi terhadap Curah Hujan dengan Analisis Regresi Berganda.....	82
D. ASTAR (<i>Adaptive Splines Threshold Autoregression</i>) ..	84
1. Prediksi Curah Hujan Dengan Metode Astar.....	84
2. Basis Fungsi	85
3. Verifikasi dan Validasi Model.....	87
E. <i>GENETIC ALGORITHM-NEURAL NETWORK (GA- NN)</i>	87

1. Pelatihan Dan Pengujian Jaringan Untuk Prediksi Variabel Input Dengan <i>Backpropagation</i>	88
2. Validasi Curah Hujan Dengan <i>Genetic Algorithm-Neural Network</i>	90
F. Wavelet-NN	96
1. Proses Pelatihan <i>Wavelet-Neural Network</i>	97
2. Pengolahan Data Inputan	98
3. Neural Network	99
4. Proses Prediksi <i>Wavelet-Neural Network</i>	100
G. ANFIS	101
1. Pengolahan Data	102
2. Pengaturan Parameter Awal Pelatihan dan Pengujian ANFIS	102
3. Pelatihan dan Pengujian Data Pada ANFIS	103
4. Evaluasi Model ANFIS	104
5. <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	104
H. Fuzzy	105
1. Perancangan <i>Fuzzy Logic</i>	105
2. Penentuan <i>Space Data</i> Dengan Metode <i>Fuzzy Cluster Means</i>	106
3. Fuzzifikasi	107
4. <i>Rule base</i>	108

5. Inferensi <i>Fuzzy</i>	109
6. Defuzzifikasi.....	110
7. Pengujian Sistem Prediksi dan Analisa	110
I. <i>Support Vector Machine – Fuzzy Logic (SVM-FL)</i>	111
1. Proposed System	111
2. Unjuk Kerja Sistem	112
BAN IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	115
A. Analisis Korelasi Variabel Input.....	115
B. Distribusi Data Curah Hujan Berdasarkan Rekamata Hidrologi	117
C. Hasil Prediksi Curah Hujan Tahunan Metode Kuantitatif	120
1. ARIMA (<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>).....	120
2. ASTAR (<i>Adaptive Splines Threshold Autoregression</i>).....	128
3. <i>Genetic Algorithm–Neural Network</i>	136
4. <i>Wavelet - Neural Network</i>	141
D. Hasil Prediksi Curah Hujan Tahunan Metode Kualitatif	144
1. ANFIS (<i>Adaptive Neuro Fuzzy Interference System</i>)	144

2. <i>Neural Network - Fuzzy</i>	148
3. <i>SVM (Support Vector Machine) – Fuzzy</i>	153
E. Perbandingan Hasil Prediksi Metode Kuantitatif.....	158
1. <i>Analisis Trend</i>	158
2. Persentase Keakuratan.....	165
F. Perbandingan Hasil Prediksi Metode Kualitatif.....	166
1. <i>Analisis Trend</i>	166
2. Persentase Keakuratan.....	172
G. Parameter Terbaik Untuk Sistem Prediksi pada Kuantitatif dan Kualitatif.....	173
H. Potensi Penelitian Selanjutnya.....	182
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	184
A. Kesimpulan.....	185
B. Saran.....	186
DAFTAR PUSTAKA.....	186
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1. Hasil pengujian HyBMG Kota Banjarbaru (Sanjaya dkk, 2009)	8
2. Klasifikasi curah hujan menurut standar internasional (WMO)	63
3. Basis aturan prediksi hujan	108
4. Hasil uji koefisien determinasi (r^2) parameter tahun 2004-2008	116
5. Koefisien korelasi antara 2 variabel	116
6. Perhitungan kuadrat data tinggi hujan	118
7. variabel dalam perhitungan distribusi frekuensi metode <i>Chi Square</i>	120
8. Distribusi frekuensi curah hujan dengan metode <i>Chi Square</i>	120
9. <i>Difference</i> pertama kelembaban bulan Februari tahun 2004-2008	121

10. Hasil prediksi kelembaban bulan Februari Tahun 2009 dan 2010	125
11. Prediksi temperatur, kelembaban, angin 1 Februari 2009 ..	126
12. Hasil prediksi curah hujan menggunakan metode ARIMA, bulan Januari 2009 dan 2010.....	126
13. Jumlah basis fungsi tahun 2009 dengan variabel Y terhadap X	129
14. Jumlah basis fungsi tahun 2010 dengan variabel Y terhadap X	129
15. Model variabel respon Y terhadap X Tahun 2009.....	131
16. Model variabel respon Y terhadap X Tahun 2010.....	131
17. Nilai Kepentingan Tahun 2009 X terhadap Y.....	131
18. Nilai Kepentingan Tahun 2010 X terhadap Y.....	132
19. Hasil prediksi curah hujan menggunakan metode ASTAR Januari.....	135
20. Hasil prediksi metode NN, contoh: temperatur pada bulan Maret.....	137
21. Hasil prediksi metode NN untuk variabel input tahun 2009 dan 2010	138
22. Hasil prediksi curah hujan menggunakan metode GA-NN, Contoh: Curah hujan bulan Januari 2009.....	140
23. Hasil prediksi curah hujan menggunakan metode <i>Wavelet Neural Network</i> bulan Januari 2009 dan 2010.....	142

24. Hasil prediksi temperatur bulan Mei tahun 2010.....	144
25. Hasil prediksi curah hujan kualitatif menggunakan metode ANFIS bulan November Tahun 2009 dan 2010.....	145
26. Validasi hasil prediksi hujan sistem ANFIS Observasi tahun 2009	147
27. Validasi hasil prediksi hujan sistem ANFIS dan aktual tahun 2010	147
28. Hasil prediksi temperatur dengan metode NN bulan Mei 2010	148
29. Hasil <i>cluster</i> data rata-rata per hari tahun 2004 - 2008	151
30. Hasil prediksi curah hujan kualitatif dengan metode NN <i>Fuzzy</i> untuk bulan November 2009 dan 2010.....	152
31. Validasi hasil prediksi hujan sistem <i>Fuzzy logic</i> dengan keadaan sebenarnya tahun 2009.....	152
32. Perbandingan hasil prediksi parameter temperatur dengan metode <i>Support Vector Machine</i> dengan data aktual bulan November tahun 2009.....	154
33. Hasil prediksi curah hujan kualitatif menggunakan metode SVM <i>Fuzzy</i> , bulan November tahun 2009 dan 2010	155
34. Keakuratan prediksi dengan metode <i>Support Vector Machine-Fuzzy Logic</i> tahun 2009	157
35. Perbandingan hasil prediksi curah hujan metode kuantitatif bulan Januari 2009	159

36. Perbandingan hasil prediksi curah hujan metode kuantitatif bulan Januari 2010	160
37. Perbandingan nilai RMSE	165
38. Perbandingan hasil prediksi curah hujan metode kualitatif bulan November 2009.....	167
39. Perbandingan hasil prediksi curah hujan metode kualitatif bulan November 2010.....	168
40. Perbandingan nilai % keakuratan tahun 2009	172
41. Hasil <i>cluster</i> data rata-rata per hari tahun 2004 - 2008	182

DAFTAR GAMBAR

nomor	halaman
1. Parameter dan metode data eksisting	11
2. Diagram skematik dari global <i>hydrologic cycle</i> (McCuen, 1998)	16
3. Proses hujan sebagai rangkaian dari <i>hydrologic cycle</i> (Brian J. Knap, 1979)	20
4. Bagan proses hujan sederhana (olahan sendiri)	20
5. Variasi eksponensial tekanan uap saturasi dengan temperatur udara (Dawei Han: 2010)	22

6. Proses <i>orographic</i> presipitasi (Ragunath, 2007).....	24
7. Proses terjadinya frontal surface lifting (Ragunath, 2007)	24
8. Proses terjadinya <i>convective lifting</i> (Lundquist, 2010).....	25
9. Perbandingan radius, volume dan kecepatan inti awan dan titik hujan (Elizabeth Shaw, 1994)	25
10. Proses keseluruhan dan parameter yang mempengaruhi hujan (Modifikasi dari Lunquist, 2010)	26
11. <i>Rain gauge symon</i> (Ragunath, 2007)	29
12. <i>Rain gauge tipping bucket</i> (Ragunath, 2007)	30
13. <i>Rain gauge tipe weighing</i> (Ragunath, 2007)	31
14. <i>Rain gauge tipe float</i> (Ragunath, 2007)	31
15. Kurva massa curah hujan (Ragunath, 2007).....	32
16. Bentuk display radar. (a) PPI (b) RHI (P.J.M de Laat et.al., 1976)	33
17. Metode Thiessen (P.J.M de Laat et.al., 1976).....	34
18. Perbandingan Metode Thiessen (a) dan Metode Kriging (P.J.M de Laat et.al., 1976)	35
19. Metode Isohyetal (P.J.M de Laat et.al., 1976)	35
20. Klasifikasi Metode Time Series (Timo Terasvirta, et, al., 2010)	38
21. Konsep artificial neuron (Gershenson, 2003)	44
22. Proses pelatihan ANN (Demuth, 2009).....	45
23. Detail ANN (Zhang, 2004a)	45

24. Fungsi aktivasi sigmoid logistic (<i>Demuth, 2009</i>).....	48
25. Fungsi aktivasi sigmoid tangent (<i>Demuth, 2009</i>)	48
26. Fungsi aktivasi linier (<i>Demuth, 2009</i>).....	49
27. Wilayah Indonesia berdasarkan pola hujan (<i>Istriana, 2009</i>) .	64
28. Kerangka pikir penelitian	65
29. Grafik curah hujan rata-rata Kota Makassar tahun 2004- 2009	68
30. Termometer	69
31. Barometer	70
32. <i>Barograph</i>	71
33. <i>Anemograph</i>	71
34. Anemometer dan penunjuk arah angin.....	72
35. <i>Campbell stokes</i>	72
36. Penakar hujan (a) tipe Obs (b) tipe Hillman	73
37. Metode yang digunakan dalam penelitian.....	76
38. Langkah-langkah penelitian secara umum.....	77
39. <i>Flowchart</i> prediksi dengan metode ARIMA	78
40. <i>Flowchart</i> dengan analisis regresi berganda	83
41. <i>Flowchart</i> prediksi curah hujan metode ASTAR	85
42. <i>Flowchart</i> penelitian dengan metode GA-NN	89
43. <i>Flowchart</i> perancangan sistem <i>Genetic Algorithm-Neural Network</i>	90
44. <i>Flowchart</i> pelatihan <i>Wavelet Neural Network</i>	97

45. <i>Flowchart</i> penelitian dengan metode ANFIS	101
46. <i>Flowchart</i> perancangan sistem <i>Fuzzy logic</i>	106
47. Kombinasi SVM dan <i>Fuzzy Logic</i>	112
48. Posisi <i>rule base</i> pada alur <i>Fuzzy logic</i>	112
49. <i>Flowchart</i> SVM- <i>Fuzzy Logic</i>	113
50. Grafik curah hujan tinggi pada periode ulang	119
51. Grafik koefisien autokorelasi pembeda pertama kelembaban.....	123
52. Koefisien parsial autokorelasi pembeda pertama kelembaban.....	123
53. Grafik perbandingan hasil prediksi curah hujan menggunakan metode ARIMA (a) Januari 2009 ; (b) Januari 2010.....	128
54. Grafik perbandingan hasil prediksi curah hujan menggunakan metode ASTAR dengan data aktual (a) Januari 2009 ; (b) Januari 2010	134
55. Grafik pemerakan nilai <i>fitness</i> prediksi curah hujan bulan Januari 2009	139
56. Metode GA-NN dengan data real (a) Januari 2009 ; (b) Januari 2010	141
57. Grafik perbandingan hasil prediksi curah hujan menggunakan metode <i>Wavelet</i> NN dengan data aktual (a) Januari 2009; (b) Januari 2010	143

58. Grafik perbedaan hasil prediksi metode kuantitatif Januari 2009	162
59. Grafik perbedaan hasil prediksi metode kuantitatif Januari 2010	162
60. Grafik perbandingan metode kuantitatif tahun 2009.....	163
61. Grafik perbandingan metode kuantitatif tahun 2010.....	164
62. Grafik perbedaan hasil prediksi metode kualitatif November 2009	169
63. Grafik perbedaan hasil prediksi metode kualitatif November 2010	169
64. Grafik perbandingan metode kualitatif tahun 2009.....	170
65. Grafik perbandingan metode kualitatif tahun 2010.....	171
66. <i>Cluster 1</i> temperatur rendah.....	174
67. <i>Cluster 2</i> temperatur sedang.....	175
68. <i>Cluster 3</i> temperatur tinggi.....	176
69. <i>Cluster 1</i> kelembaban rendah.....	177
70. <i>Cluster 2</i> kelembaban sedang.....	178
71. <i>Cluster 3</i> kelembaban tinggi.....	179
72. <i>Cluster 1</i> kecepatan angin ringan.....	180
73. <i>Cluster 2</i> kecepatan angin sedang.....	180
74. <i>Cluster 3</i> kecepatan angin kencang.....	181
75. <i>Cluster 4</i> kecepatan angin sangat kencang.....	182
76. Hubungan temperatur luar dengan curah hujan.....	183

77. Hubungan kec. angin, kelembaban dan curah hujan 184



DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Data meteorologi dari BMKG.....	193
2. Pembagian zona musim di Sulawesi.....	206
3. Korelasi variabel yang mempengaruhi curah hujan.....	207
4. a. Data perbandingan hasil prediksi tahun 2009	209

b. Data perbandingan hasil prediksi tahun 2010	218
5. Pseudocode untuk program SVM-Fuzzy	227
6. Perhitungan dalam rekayasa hidrologi berkenaan dengan curah hujan.....	231



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kota Makassar merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia. Kota ini memiliki luas areal 175,79 km² dengan jumlah penduduk berkisar 1,3 juta orang, sehingga kota ini sudah menjadi kota metropolitan. Secara geografis Kota Metropolitan Makassar terletak di pesisir Pantai Barat Sulawesi-Selatan pada koordinat 119°18'27,97" - 119°32'31,03" Bujur Timur dan 5°00'30,13" - 5°14'6,49" Lintang Selatan dan secara administratif berbatasan dengan daerah berikut:

- Batas utara : Kabupaten Pangkajene Kepulauan
- Batas timur : Kabupaten Maros
- Batas selatan : Kabupaten Gowa
- Batas barat : Selat Makasar

Sebagaimana kota lainnya di Indonesia, Kota Makassar dipengaruhi dua musim yaitu musim hujan periode Oktober-April dan musim kemarau periode Mei-September. Informasi cuaca dan iklim merupakan kebutuhan utama untuk mendukung kegiatan di berbagai sektor, utamanya yang berkenaan dengan sumber daya air. Informasi tersebut dapat berupa prediksi curah hujan. Berbagai metode prediksi telah dikembangkan hingga saat ini.

Sistem prediksi tersebut umumnya didasarkan pada prinsip proses evatransporasi yaitu proses pembentukan awan hujan yang dipengaruhi oleh parameter meteorologi lainnya. Sehingga dalam proses pelatihan, sistem membutuhkan data empiris meteorologi yang biasanya melibatkan puluhan tahun data bergantung pada resolusi waktu yang akan diramalkan.

Saat ini penelitian dalam membuat sistem prediksi curah hujan yang berdasarkan prinsip evatransporasi yang menggunakan data seri empiris meteorologi banyak dilakukan dengan pendekatan kuantitatif. Selain itu prediksi lebih banyak untuk prediksi curah hujan tahunan, bulanan dan yang terkecil adalah harian. Pendataan dan ramalan cuaca dan iklim secara nasional dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menggunakan berbagai metode diantaranya pendekatan statistik seperti model regresi dan *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*, ataupun dengan memanfaatkan kecerdasan buatan seperti jaringan saraf tiruan, *Fuzzy Logic*, Algoritma Genetik, Support Vector Machine, Transformasi *Wavelet*, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*, atau kombinasi dari beberapa metode tersebut. Akan tetapi setiap pendekatan dalam prediksi hujan memiliki nilai *trade-off* yang sangat bergantung kepada parameter masukan untuk prediksi dan tentunya tempat atau lokasi yang akan diprediksi.

Berdasarkan data BMKG Kota Makassar, ada 6 parameter yang digunakan untuk memprediksi hujan saat ini yaitu:

- Curah hujan sebelumnya (mm/hr)
- Temperatur udara (°C)
- Intensitas penyinaran matahari (%)

- Tekanan udara (mB)
- Kelembaban nisbi (%)
- Arah angin (knot)

Beberapa penelitian terkait menunjukkan hubungan parameter meteorologi di atas terhadap probabilitas terjadinya hujan. Berikut ini akan dibahas penelitian-penelitian sebelumnya baik dari sistem prediksi maupun dari parameter meteorologi yang diamati. Dari studi penelitian sebelumnya akan diperoleh *insight* dari *state of art* penelitian dan menjadi titik acuan dalam disertasi ini untuk mencapai kebaruan (*novelty*).

1. Penelitian Terkait Korelasi Unsur Meteorologi Terhadap Curah Hujan

Ada banyak variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya hujan yang tentunya akan berbeda bergantung pada lokasi/wilayah yang diamati. Perbedaan variabel ini bahkan kadang sebagai anomali dimana suatu variabel tertentu yang dianggap sebagai pembentuk hujan dapat berbanding terbalik hasilnya (Ramat, A. dkk, 2004). Variabel *Sea Surface Temperature* (SST) berbeda trend-nya pada daerah tropis dan subtropis. Penelitian tersebut menyebutkan SST berbanding terbalik dengan curah hujan di daratan untuk daerah tropis. Aktifitas *lanthropogenic* dan *El Niño-southern oscillation* (ENSO) dianggap sebagai kontributor hal ini.

Penelitian tersebut sebelumnya telah dilakukan oleh (Aldrian, E., dkk, 2003) yang meninjau hubungan *El Niño-southern oscillation* (ENSO) dan SST. Hasilnya telah diuraikan yaitu terbentuknya 3 tipe hujan di wilayah

Indonesia. Penelitian lanjutan terhadap prediksi hujan di Indonesia menyatakan bahwa suhu pada permukaan troposfer juga berperan sehingga diperlukan *adjustment* terhadap peta pengaruh ENSO di Indonesia (Giannini dkk, 2007).

Penelitian yang menggunakan cukup banyak variabel pendukung dilakukan di Timika Indonesia (Region C). Dalam penelitian ini (Aldrian dkk, 2008) memanfaatkan 4 variabel data empiris yaitu:

- Curah hujan (mm)
- *Land surface temperature*, LST, (oC)
- *Surface pressure* (mBAr)
- Kelembaban Nisbi (%)

Keempat variabel tersebut ternyata memberikan pengaruh signifikan dalam prediksi curah hujan pada region C.

2. Penelitian terkait Sistem Prediksi Yang Digunakan

Dalam peramalan biasanya digunakan metode statistik ataupun model kecerdasan buatan seperti *Artificial Neural Network (ANN)*. Model ANN didasarkan pada prediksi oleh analisis cerdas terhadap *trend* dari himpunan data historis yang telah ada. *Artificial Neural Network* memiliki kemampuan untuk model sistem linear maupun non linear tanpa membuat asumsi apapun dan kemampuan untuk belajar dan menggeneralkan data yang diberikan untuk menghasilkan solusi yang berguna, meskipun data input mengandung *error* atau tidak lengkap.

Kekurangan dari metode ini dalam meramalkan hujan adalah kompleksitas interaksi antara atmosfer dan lautan serta ketidakpastian hubungan antara curah hujan dan variabel *hydrometeorology*, sehingga perlunya memahami proses hujan serta parameter yang mempengaruhinya adalah penting untuk mendapatkan hasil ramalan yang seakurat mungkin.

Model ANN yang paling banyak digunakan (lebih 80 %), untuk peramalan hujan adalah konfigurasi algoritma *Back Propagation*. Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan ANN untuk peramalan hujan, sebuah karya pelopor dalam menerapkan ANN untuk peramalan curah hujan dilakukan oleh French et al. (1992), yang menggunakan ANN untuk meramalkan dua dimensi curah hujan 1 jam ke depan. Parameter yang digunakan adalah data curah hujan yang dihasilkan oleh model simulasi curah hujan matematika sebagai masukan untuk *training set* data. Keterbatasan dari penelitian ini adalah adanya *trade-off* antara interaksi dan waktu pelatihan yang tidak mudah seimbang. Jumlah lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan node tersembunyi tampaknya tidak cukup, dibandingkan dengan jumlah input dan output node.

Namun hal itu telah dianggap sebagai kontribusi pertama untuk aplikasi ANN dan mendirikan sebuah tren baru dalam memahami dan mengevaluasi peran ANN dalam menyelidiki proses geofisika yang kompleks.

Seiring perkembangan model algoritma pada metode ANN, maka semakin banyak penelitian dalam peramalan curah hujan yang dilakukan dengan hasil yang semakin akurat, sebagai contoh penelitian-penelitian berikut:

- a. Abhishek K, et al (2012) telah melakukan prediksi curah hujan menggunakan ANN dengan menggunakan 400 entri data input dan output untuk 8 bulan dalam *range* tahun 1960 – 2010 (50 tahun), penelitian ini menggunakan kelembaban rata-rata dan kecepatan angin rata-rata sebagai parameter input dalam menentukan curah hujan sebagai parameter output yang diharapkan. Selain itu penelitian ini menguji 3 model algoritma yaitu *Back Propagation Algorithm*, *Layer Recurrent Network* dan *Cascade Back-Propagation*. Hasilnya di antara ketiga algoritma yang diuji, *Back Propagation Algorithm* memiliki nilai *error* yang paling kecil, sehingga merupakan algoritma terbaik dari ketiganya.
- b. Ramírez Maria Cleofe´ Valverde, et al (2005) melakukan penelitian untuk meramalkan curah hujan menggunakan ANN pada daerah Sao Paulo. Penelitian ini menggunakan model *Feed Forward Neural Network* dan *Resilient Propagation Learning Algorithm*. Parameter meteorologi yang digunakan mengacu pada model ETA yaitu temperatur potensial, angin, kelembaban, temperatur udara, endapan air, vortisitas relatif dan fluks kelembaban divergensi. Penelitian ini juga menyajikan perbandingan penggunaan *Multiple Linear Regression* dan ANN dengan hasil keunggulan dalam penggunaan ANN.
- c. Sanjaya, et. al (2009) hanya menggunakan satu parameter saja yaitu curah hujan sebelumnya. Hasil yang diperoleh juga dalam bentuk kuantitatif yaitu curah hujan prediksi (mm/hr). Pendataan dan ramalan cuaca dan iklim secara nasional dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menggunakan berbagai metode diantaranya

pendekatan statistik seperti *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dan *Time Series Analisis* (TISEAN), ataupun dengan memanfaatkan kecerdasan buatan seperti Tranformasi *Wavelet* dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Akan tetapi metode ARIMA paling sering digunakan dalam peramalan karena kemudahan komputasinya. Hasil validasi keempat metode menunjukkan keakuratan yang berbeda di setiap lokasi. Untuk tipe monsunal (monsun) digunakan data empiris curah hujan dari stasiun Banjarbaru (tahun 1974-2008). Ada 4 model prediksi yang sudah diterapkan pada sistem HyBMG yaitu:

- 1) *Adaptive Neural Fuzzy Inference System* (ANFIS)
- 2) Transformasi wavelet
- 3) *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA)
- 4) *Time Series Analisis* (TISEAN)

Dalam menentukan baik tidaknya suatu model prediksi digunakan dua variable uji yaitu *root mean square error* (RMSE) dan korelasi r . Semakin kecil nilai RMSE menunjukkan nilai deviasi kesalahan yang kecil antara data prediksi dan observasi begitu pula sebaliknya. Hasilnya terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian HyBMG Kota Banjarbaru (Sanjaya dkk, 2009)

Tahun	Metoda Prakiraan			
	ANFIS	WAVELET	ARIMA	TISEAN
1999	104	58	62	117
2000	117	90	86	81
2001	71	62	49	88
2002	80	98	86	105
2003	124	104	114	120
2004	115	103	92	79
2005	105	55	57	114
2006	101	68	73	64
2007	97	106	105	77
2008	116	100	113	115
1999 - 2008	104	87	86	98
r	0,68	0,78	0,79	0,71

Model wavelet dan ARIMA memberikan hasil prediksi lebih baik. Baik ditinjau dari nilai RMSE yang rata-rata lebih kecil serta nilai korelasi r yang lebih besar dibandingkan dengan kedua metode lainnya.

Ada 2 hal yang belum dirumuskan pada penelitian *Sanjaya dkk*, yaitu tidak dimanfaatkannya pengaruh variabel lain seperti suhu permukaan (*land surface temperature* dan *sea surface temperature*), kelembaban, kecepatan angin dan lain-lain sebagai variabel masukan untuk prediksi. Padahal data dari variabel-variabel tersebut tersedia di BMKG. Selain itu model-model prediksi terbaru belum terintegrasi ke dalam HyBMG seperti *Particle Swormp*, algoritma semut, algoritma genetik, *Support Vector Machine*, dan lain-lain.

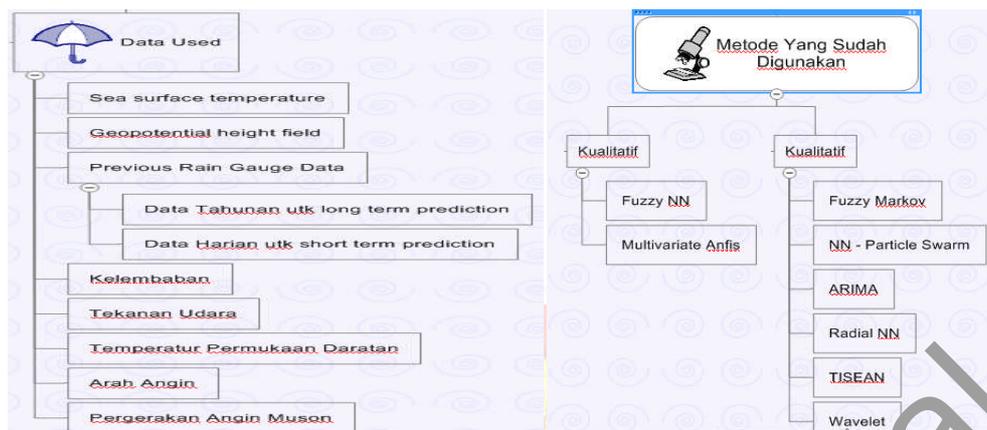
- d. Manusthiparom, et al. (2003) meneliti hubungan EL Nino, Indeks SOI (*Southern Oscillation Indices*) dan SST (*Sea Surface Temperature*)

terhadap curah hujan bulanan di Chiang Mai, Thailand dan menemukan hubungan yang *significant* di antara variabel-variabel tersebut. Sehingga parameter input yang digunakan dalam peramalan hujan satu tahun ke depan adalah SOI, SST dan curah hujan masa lalu. Penelitian ini menggunakan algoritma *Back Propagation* dan menyarankan untuk mengadopsi beberapa variabel iklim yang berhubungan dengan hujan sebagai prediktor tambahan seperti kecepatan angin, keadaan mendung/berawan, temperatur permukaan dan tekanan udara.

- e. *Hung, NQ, et.al.* (2009) juga melakukan peramalan curah hujan menggunakan ANN di Bangkok, Thailand dengan menggunakan model *Generalized Feed Forward* dan fungsi tangen hiperbolik. Penelitian ini memiliki data yang diperoleh selama 3 tahun (1997 – 1999) untuk peramalan hujan 1 – 6 jam ke depan dengan kelembaban relatif, tekanan udara, suhu bola basah, dan keadaan mendung sebagai parameter input.
- f. *Gan, X, et.al.* (2011) menggunakan MATLAB *Neural Network* dalam mereproduksi model hujan pada China bagian timur. Model yang diadopsi adalah *Back Propagation Algorithm* dengan 3 lapisan (*layer*) di mana pada lapisan output menggunakan fungsi aktivasi logsig dan pada lapisan tersembunyi (*Hidden Layer*) menggunakan tansig. Variabel input yang digunakan adalah curah hujan bulan April, intensitas dingin bulan Januari dan kelembaban pada bulan Februari. Pemilihan variabel ini didasarkan pada faktor korelasi terbesar saat menggunakan *Corrcoef Function* yang merupakan salah satu fungsi di MATLAB.

- g. Teknik JST akan semakin baik jika dikombinasikan dengan metode lainnya. Dalam sistem peringatan dini banjir di Kota Hainan China digunakan kombinasi JST dan *Fuzzy* (Wu, H dkk, 2009).
- h. Penelitian serupa dilakukan di kota Sanjiang (Hongxia L, Chuanwei L, 2008). JST berfungsi sebagai prediktor curah hujan dengan angka kuantitatif dan selanjutnya *Fuzzy* mentransformasi angka kuantitatif menjadi kualitatif.
- i. Teknik algoritma genetik juga dapat dikombinasikan dengan JST (Lin K, dkk, 2008). Model ini biasa disingkat dengan GANN (*Genetic Algorithm - Neural Network*). Esensinya adalah memberikan masukan ke JST setelah melewati proses seleksi genetik GA.
- j. Yang terakhir dan cukup menjanjikan adalah penggabungan JST-Wavelet pada prediksi pembebanan listrik di Inggris (Chen Y, dkk, 2010). Seperti diketahui pada pembahasan sebelumnya bahwa wavelet telah diuji dengan HyBMG sebagai teknik terbaik untuk prediksi hujan di Indonesia. Dengan dikombinasikan dengan JST maka diharapkan hasilnya akan lebih baik dari sistem yang sudah ada.

Dari berbagai penelitian tersebut di atas dapat dirangkum beberapa parameter yang memiliki korelasi terhadap besarnya curah hujan yang akan terjadi. Parameter-parameter tersebut antara lain:



Gambar 1. Parameter dan metode data eksisting

Penelitian ini akan menguji berbagai parameter yang berkorelasi terhadap tingkat curah hujan dan menentukan parameter dengan korelasi tertinggi sebagai acuan untuk memprediksi curah hujan yang akan terjadi. Selain itu akan diuji beberapa model prediksi baik pendekatan statistik maupun kecerdasan buatan untuk mendapat model terbaik yang sesuai untuk prediksi curah hujan di Kota Makassar. Pengujian model prediksi yang dilakukan meliputi peramalan berdasarkan pendekatan kuantitatif yaitu Jaringan Saraf Tiruan (JST), Tranformasi *Wavelet* kombinasi dengan JST, Algoritma Genetik (GA) kombinasi dengan JST dan peramalan statistik melalui *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dan *ASTAR (Adaptive Splines Threshold Autoregression)*, sedangkan pengujian berdasarkan pendekatan kualitatif yaitu *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), JST kombinasi dengan Logika Fuzzy dan *Super Vektor Machine* (SVM) kombinasi dengan Logika Fuzzy. *Novelty* yang akan diteliti adalah kombinasi maupun modifikasi model prediksi dan masukan data yang akan difokuskan

pada parameter dengan korelasi tertinggi terhadap tingkat curah hujan untuk mendapatkan hasil prediksi terbaik. Untuk itu dalam disertasi ini akan diangkat judul “SISTEM PAKAR UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN TINJAUAN TEKNIK EKSPLOKORASI TERBAIK PADA DERET DATA”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas sebelumnya bahwa diperlukan suatu model pendekatan prediksi yang paling tepat untuk kota Makassar. Untuk pencapaian hal tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Menemukan parameter yang paling sesuai untuk digunakan dalam memprediksi curah hujan dari keanekaragaman parameter meteorologi yang ada dari hubungan sebab akibat dan korelasinya.
2. Membangun ulang metode eksisting yang sudah ada untuk diuji kembali dengan data meteorologi Makassar sekaligus menjadi pembandingan bagi metode kebaruan yang diusulkan dalam disertasi ini.
3. Menemukan sistem prediksi terbaik baik dari pendekatan kuantitatif maupun kualitatif untuk kota Makassar.
4. Pengamatan dan analisis waktu sampling dari unsur meteorologi yang sudah ada (harian) dan hipotesis diperlukannya *sampling* waktu yang lebih pendek atau panjang untuk hasil prediksi yang lebih baik.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya maka tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Melakukan investigasi terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi curah hujan khususnya di Kota Makassar. Akan dilakukan uji korelasi terhadap parameter masukan yang digunakan oleh BMKG selama ini. Variabel-variabel yang diuji juga ditinjau dari tingkat pengaruh atau seberapa signifikan sinyal terhadap butiran hujan termasuk di dalamnya pengaruh waktu pengambilan sampel dari variabel.
2. Membuat sistem prediksi curah hujan untuk Kota Makassar dengan menggunakan beberapa model yang sudah ada sebelumnya. Beberapa sistem prediksi yang akan dibuat meliputi model pendekatan statistic serta pendekatan kecerdasan buatan.
3. Melakukan analisis terhadap perbandingan metode eksisting dan metode baru yang diusulkan ditinjau dari pendekatan kuantitatif maupun kualitatif. Unjuk kerja sistem diukur dari parameter tren, validitas linieritas, persentase keakuratan serta *Root Mean Square Error (RMSE)*.
4. Memperoleh *insight* atas kesesuaian metode sampling data yang telah dilakukan oleh BMKG selama ini dan rekomendasi akan perbaikan pengambilan sampling data jika diperlukan.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan member manfaat kepada masyarakat umum di Kota Makassar dan diharapkan dapat diimplementasikan ke dalam sistem di BMKG. Uraian manfaat penelitian secara khusus sebagai berikut:

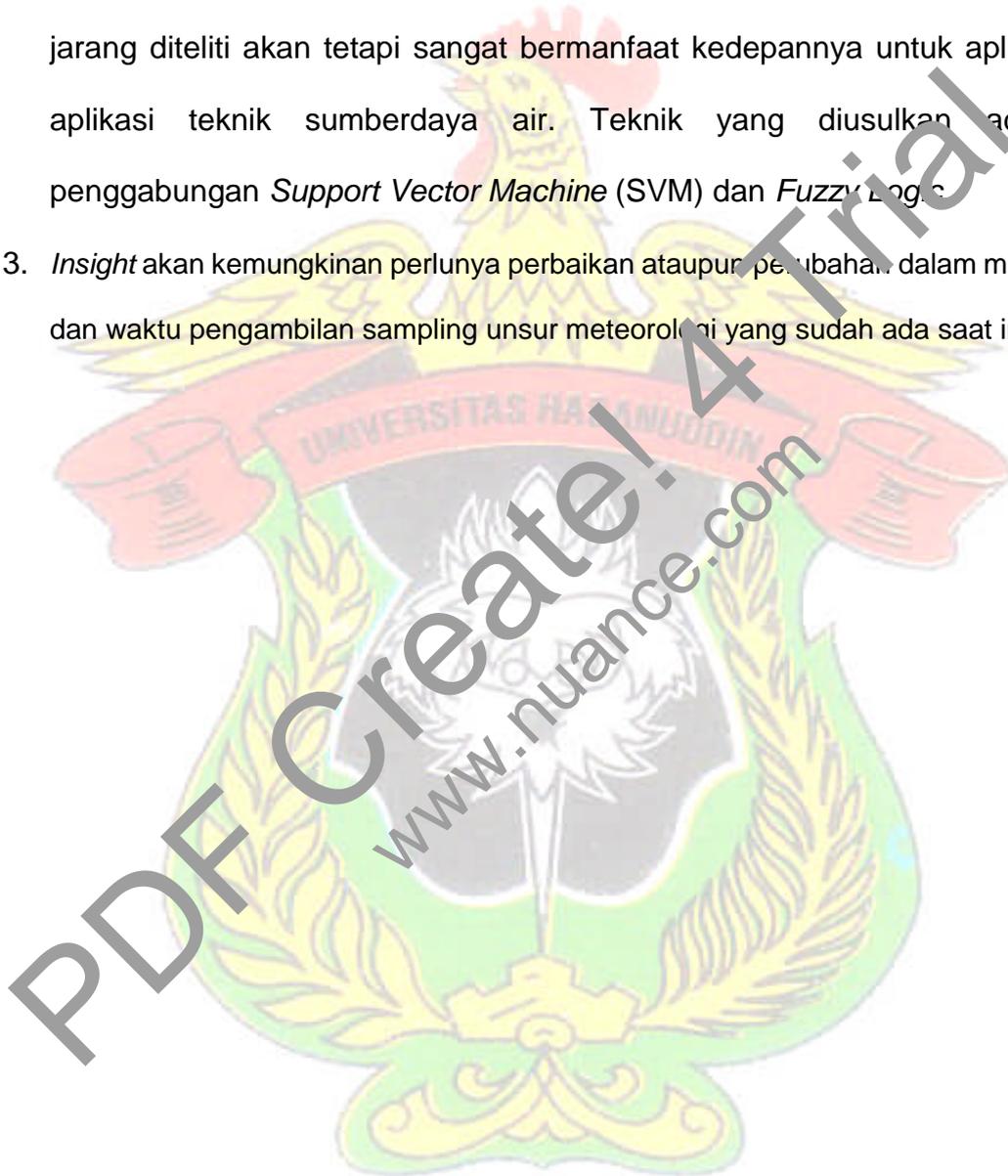
1. Ditemukannya variabel yang paling berperan untuk memprediksi curah hujan sehingga mempermudah dan mengefisienkan pengambilan data selanjutnya. Stasiun-stasiun cuaca dapat diperbaiki keakurasian nya pada variabel yang mempunyai korelasi signifikan terhadap curah hujan.
2. Diperolehnya gambaran menyeluruh terhadap perbandingan model-model prediksi eksisting secara ekstensif.
3. Model modifikasi ataupun kombinasi dapat memberikan hasil prediksi yang lebih baik dari model-model yang sudah ada.
4. Memungkinkan model pendekatan prediksi kualitatif yang dapat dikembangkan dalam penelitian ke depannya terutama dalam bidang sumberdaya air.

Dan uraian manfaat penelitian secara umum sebagai berikut:

1. Prediksi Hujan Harian yang lebih akurat untuk mendukung kegiatan harian masyarakat.
2. kedepannya dapat digunakan untuk aplikasi *decision support system* sumber daya air.
3. Dapat menjadi informasi pendukung bagi BMKG dalam bidang pertanian, seperti waktu yang tepat untuk cocok tanam dan lain-lain.

E. Kebaharuan

1. Perbandingan ekstensif dari ragam model kecerdasan buatan, statistik dan pengenalan pola, yang ditilik secara *holistic* mulai dari data *preprocessing* sampai dengan modifikasi teknik.
2. Usulan untuk menggunakan pendekatan kualitatif yang saat ini masih jarang diteliti akan tetapi sangat bermanfaat kedepannya untuk aplikasi-aplikasi teknik sumberdaya air. Teknik yang diusulkan adalah penggabungan *Support Vector Machine* (SVM) dan *Fuzzy Logic*.
3. *Insight* akan kemungkinan perlunya perbaikan ataupun perubahan dalam metode dan waktu pengambilan sampling unsur meteorologi yang sudah ada saat ini.



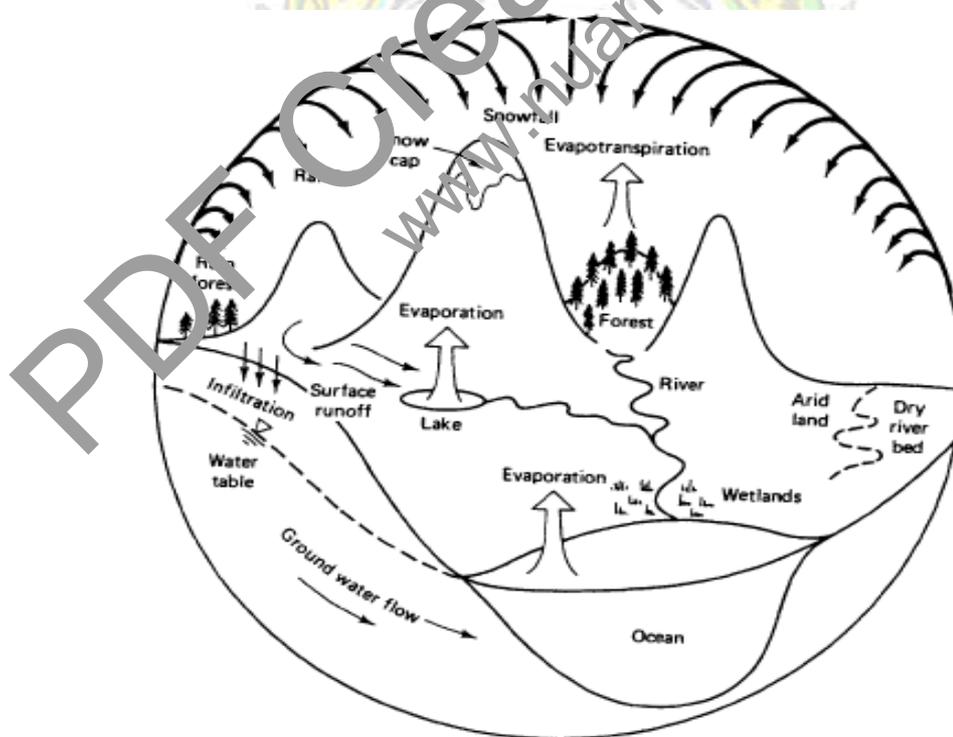
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Presipitasi (Hujan)

1. Hydrologic Cycle

Air bergerak antara lautan, *atmosphere*, *cryosphere* dan daratan. Jumlah air di bumi adalah konstan dalam skala waktu hingga ribuan tahun, namun terjadi perubahan bentuk dari bentuk cair, padat dan gas yang bergerak melalui lingkaran hidrologi (*Hydrologic Cycle*).



Gambar 2. Diagram skematik dari global *hydrologic cycle* (McCuen, 1998)

Jumlah air yang bergerak melalui *hydrologic cycle* setiap tahun sama dengan kedalaman 1 meter dari air yang menyebar secara merata di sepanjang permukaan bumi. Sejumlah air ini setiap tahun memasuki atmosfer melalui penguapan dan kembali ke bumi sebagai presipitasi. Untuk menguapkan 1 meter air dalam setahun dibutuhkan input energi rata-rata sebesar 80 Wm^2 .

Matahari menyediakan energi untuk menguapkan air dari permukaan. Ketika sudah berada di atmosfer, uap air dapat berpindah secara horizontal pada jarak yang jauh dan bergerak ke atas. Pergerakan horizontal dan vertikal dari uap air ini kritis terhadap keseimbangan air di daratan karena sekitar 1/3 dari presipitasi yang jatuh pada daratan adalah air yang telah diuapkan dari daerah lautan dan kemudian bergerak ke daratan.

Proses *hydrologic cycle* pada atmosfer merupakan proses presipitasi yaitu jatuhnya benda cair ataupun padat (hujan, salju dan es) dari atmosfer ke permukaan bumi. Di Indonesia, ataupun negara yang beriklim tropis, hujan merupakan bentuk presipitasi yang paling umum. Air hujan yang berada pada permukaan bumi akan menambah volume dari lautan ataupun terserap oleh wilayah daratan.

Proses selanjutnya yang masih merupakan rangkaian terakhir dari *hydrologic cycle* pada daratan dan lautan adalah dalam bentuk proses *evapotranspiration* yang merupakan proses yang mengembalikan air ke atmosfer.

Evapotranspiration terdiri dari dua bagian, yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi (Penguapan) adalah peristiwa hilangnya molekul air

dari massa tanah dan air yang disebabkan oleh energi panas matahari yang menyebabkan terjadinya penguapan, sementara transpirasi adalah peristiwa hilangnya air tumbuhan dalam bentuk penguapan.

2. Evaporasi (Penguapan)

Penguapan merupakan salah satu bagian penting dalam pembentukan presipitasi, karena banyaknya presipitasi dipengaruhi oleh proses evaporasi, sebagian besar uap air yang naik ke atmosfer disebabkan oleh penguapan. Ada beberapa variabel yang mempengaruhi proses ini, di antaranya:

- a. **Radiasi sinar matahari** yang memberikan kontribusi terbesar terhadap proses penguapan. Semakin tinggi radiasi sinar matahari, total penguapan akan semakin besar. Radiasi sinar matahari ditentukan oleh waktu dan garis lintang.
- b. **Angin** memiliki dua peran yang penting dalam menentukan *rate* penguapan. Pertama, angin menyalurkan panas yang terbentuk pada permukaan yang berdekatan, seperti gurun yang kering atau aspal yang panas mempercepat penguapan (proses adveksi). Peran kedua adalah bertindak untuk mempercepat penguapan dengan menambah *turbolence* transfer uap air dari daerah lembab ke atmosfer kering, dalam kasus ini, angin secara konstan menggantikan udara lembab dengan udara kering dari atas. Semakin besar kecepatan angin, laju penguapan juga semakin besar.

- c. **Kelembaban** menentukan kekeringan atau daya pengering dari atmosfer. Semakin besar kelembaban, maka penguapan akan semakin kecil.
- d. **Temperatur** mempengaruhi VPD (*Vapor Pressure Deficit*) yaitu variabel meteorologi yang biasa digunakan untuk menghitung daya pengeringan dari atmosfer serta mempengaruhi adveksi. Semakin besar temperatur, semakin besar pula jumlah penguapan.

Persamaan di bawah ini menjelaskan hubungan ketika total penguapan (E) diukur secara langsung bersama nilai rata-rata dari kelembaban (q) dan kecepatan angin (U) serta nilai rata-rata dari q dan U pada suatu ketinggian a .

$$E = \rho C_{Ea} (q_s - q_a) U \quad (1)$$

Dimana:

E : total penguapan

q_s : kelembaban spesifik saturasi pada udara

q_a : kelembaban udara pada ketinggian a

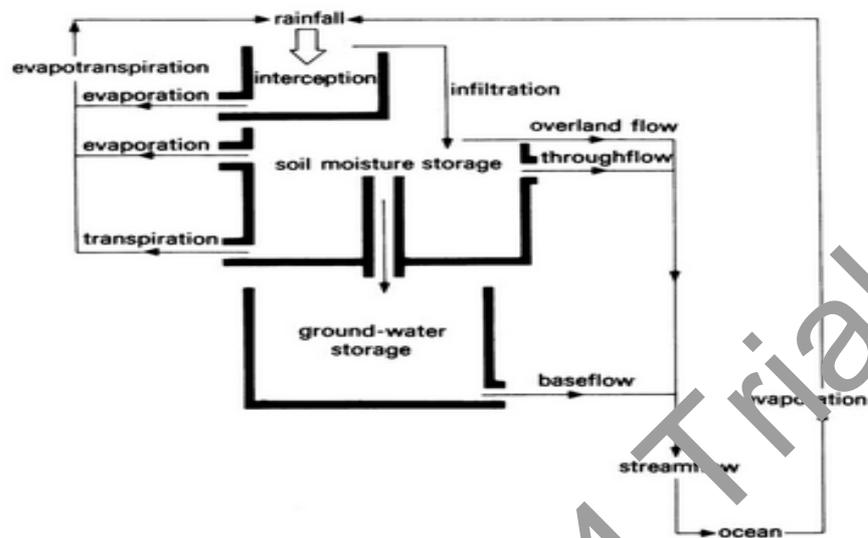
C_{Ea} : koefisien pertukaran dari uap air pada ketinggian a

ρ : kepadatan udara

U : kecepatan angin

Pentingnya memahami proses penguapan yang merupakan rangkaian *hydrologic cycle* dan proses presipitasi yang merupakan alur proses terhadap curah hujan yang akan diramalkan.

3. Hujan



Gambar 3. Proses hujan sebagai rangkaian dari *hydrologic cycle* (Brian J. Knap, 1979)

Proses hujan dimulai dengan penguapan air pada permukaan bumi hingga saturasi dan membentuk awan, hingga pada suatu kondisi tertentu konten air pada awan tersebut jatuh dalam bentuk drop air yang dikenal dengan hujan. Secara umum diilustrasikan pada bagan di bawah.



Gambar 4. Bagan proses hujan sederhana (olahan sendiri)

Bagian pembentukan hujan yang penting adalah saat udara menjadi saturasi bersama uap air, kondisi ini disebut kondensasi yang merupakan tahapan pertama dari presipitasi. Kondisi saturasi ini dipengaruhi oleh Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*). Kelembaban Relatif (RH) didefinisikan sebagai:

$$RH = \frac{e_a}{e_s} \quad (2)$$

Dimana:

e_a : tekanan uap air aktual (dalam kPa atau mbar)

e_s : tekanan uap saturasi. Udara menjadi saturasi jika RH 100%.

Tekanan uap aktual tergantung dari konsentrasi uap air (atau kepadatan ρ_v) dari paket udara. Variabel ini dihubungkan melalui hukum gas ideal yang diberikan pada persamaan berikut:

$$e_a = \rho_v R_d T \quad (3)$$

Dimana:

ρ_v : kepadatan uap air

R_d : konstanta gas dari udara kering (=287.04 Joules kg⁻¹ K⁻¹)

T : temperatur absolut (K)

0,622 diperoleh dari 18/29 yaitu rasio berat molekul air dan udara. Tekanan uap saturasi didefinisikan sebagai tekanan saat paket udara disaturasikan oleh uap air. Artinya penambahan uap air ke paket udara ini tidak dapat dilakukan tanpa mengubah temperaturnya. Sehingga tekanan uap

saturasi bervariasi tergantung oleh besar temperaturnya, hubungan ini dikenal dengan persamaan *Claussius-Clapeyron*.

$$\left(\frac{e_s}{T} \right) = 0,611 \frac{e_s}{T} \quad (4)$$

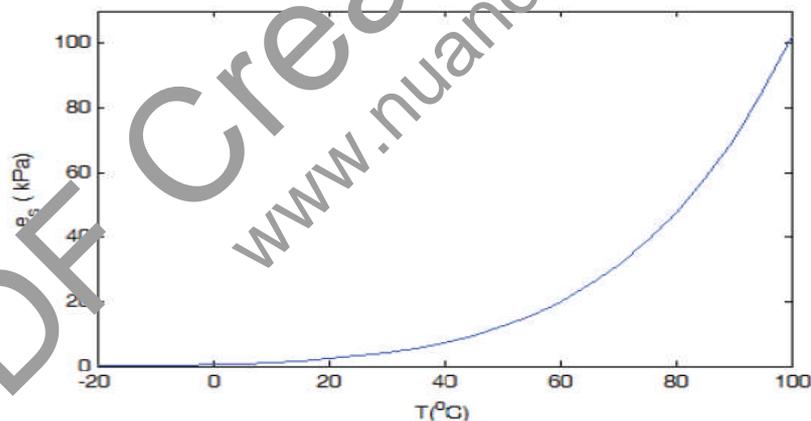
Dimana:

T_c : temperatur udara (C)

Oleh karena itu, $RH \rightarrow 100\%$, jika:

- 1) ρ_v naik (untuk temperatur yang tetap) atau
- 2) Temperatur turun.

Hubungan antara T_c dan e_s disajikan pada Gambar berikut:



Gambar 5. Variasi eksponensial tekanan uap saturasi dengan temperatur udara (Dawei Han: 2010)

Penurunan temperatur akan menurunkan e_s secara exponential (Gambar 5) yang akan memaksa $e_s = e_a$. Salah satu mekanisme untuk

menurunkan temperatur adalah dengan mengangkat paket udara ke elevasi yang lebih tinggi.

Saat paket udara diangkat ke elevasi yang lebih tinggi, paket udara ini akan menjadi dingin dan menurunkan nilai tekanannya (e_s). Di ketinggian atau elevasi saat $e_s = e_a$ inilah awan akan terbentuk. Istilah *Lifting Condensation Level* (LCL) biasanya digunakan untuk menjelaskan elevasi atau bagian ini.

Umumnya, udara akan dingin pada 10 K per 1000 m. Jumlah ini disebut sebagai *Dry Adiabatic Lapse Rate* (Γ_d), dengan:

$$\Gamma = - \quad (5)$$

Dimana:

g : percepatan gravitasi ($=9.8 \text{ m s}^{-2}$)

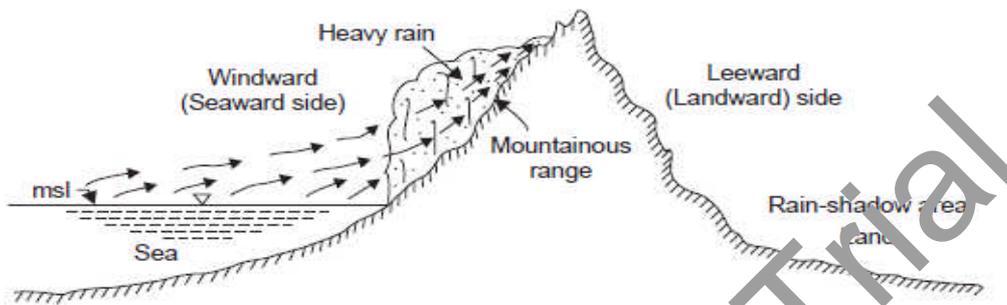
C_p : kapasitas panas spesifik dari udara kering pada tekanan konstan ($=1005 \text{ Joules Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

B. Klasifikasi Hujan

Mekanisme dimana udara diangkat merupakan cara yang digunakan untuk mengklasifikasi tipe hujan. Ada 3 mekanisme pengangkatan udara, yaitu:

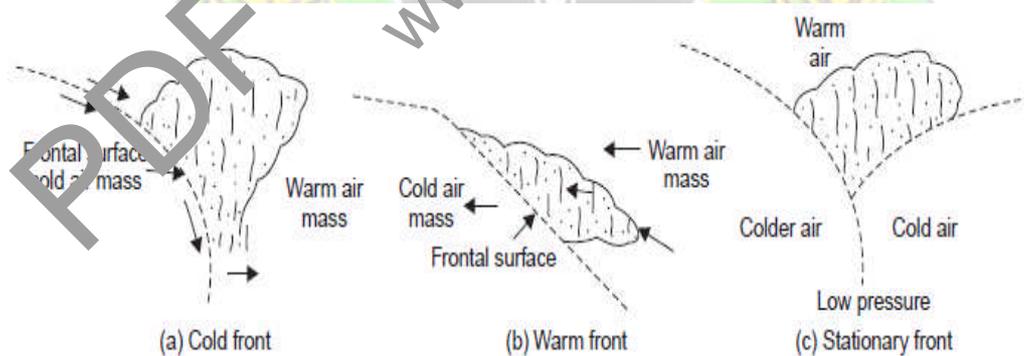
1. *Orographic Lifting*, yaitu proses dimana udara dipaksa untuk naik ke pegunungan atau tempat yang lebih tinggi. Udara akan mengembang

dan mendingin hingga akhirnya proses presipitasi dalam bentuk hujan pun terjadi. Gambar berikut mengilustrasikan kondisi ini.



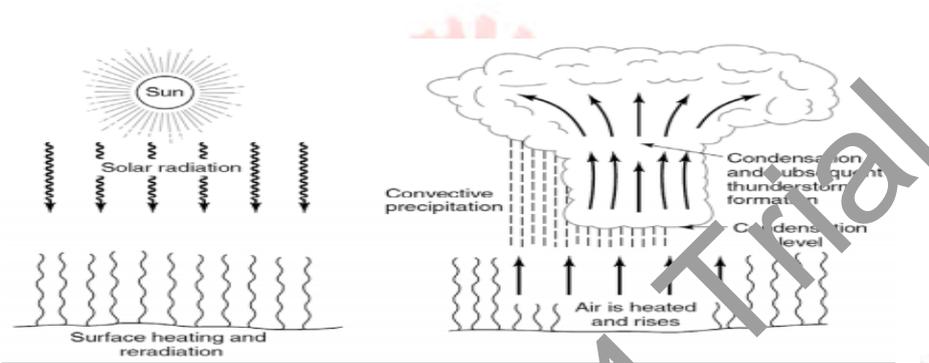
Gambar 6. Proses *orographic* presipitasi (Ragunath, 2007)

2. *Frontal Surface Lifting*, yaitu proses saat udara yang lebih panas dipaksa ke atas udara yang lebih dingin pada suatu equilibrium dengan permukaan yang lebih dingin. Proses ini juga dapat diakibatkan oleh pemuaian udara pada pendakian di sepanjang atau dekat permukaan frontal.



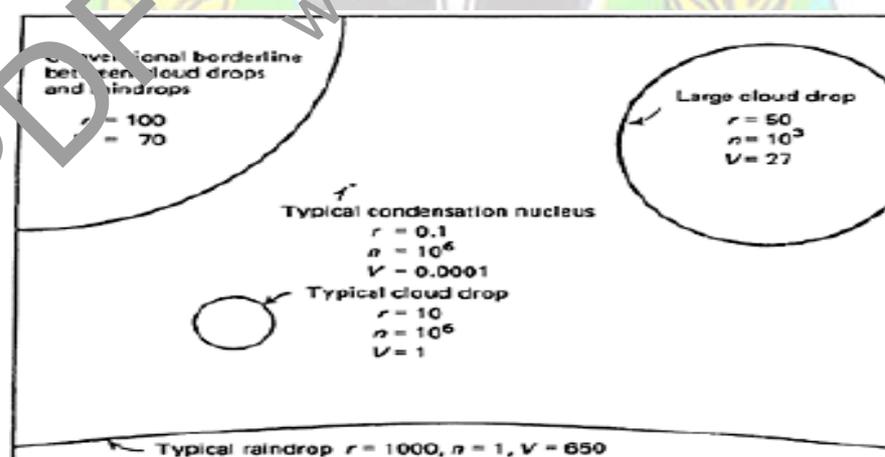
Gambar 7. Proses terjadinya frontal surface lifting (Ragunath, 2007)

3. *Convective Lifting* merupakan proses dimana udara panas naik dari permukaan yang panas dan semakin mendingin. Proses ini paling sering terjadi pada daerah tropis. Gambar berikut mengilustrasikan proses ini.

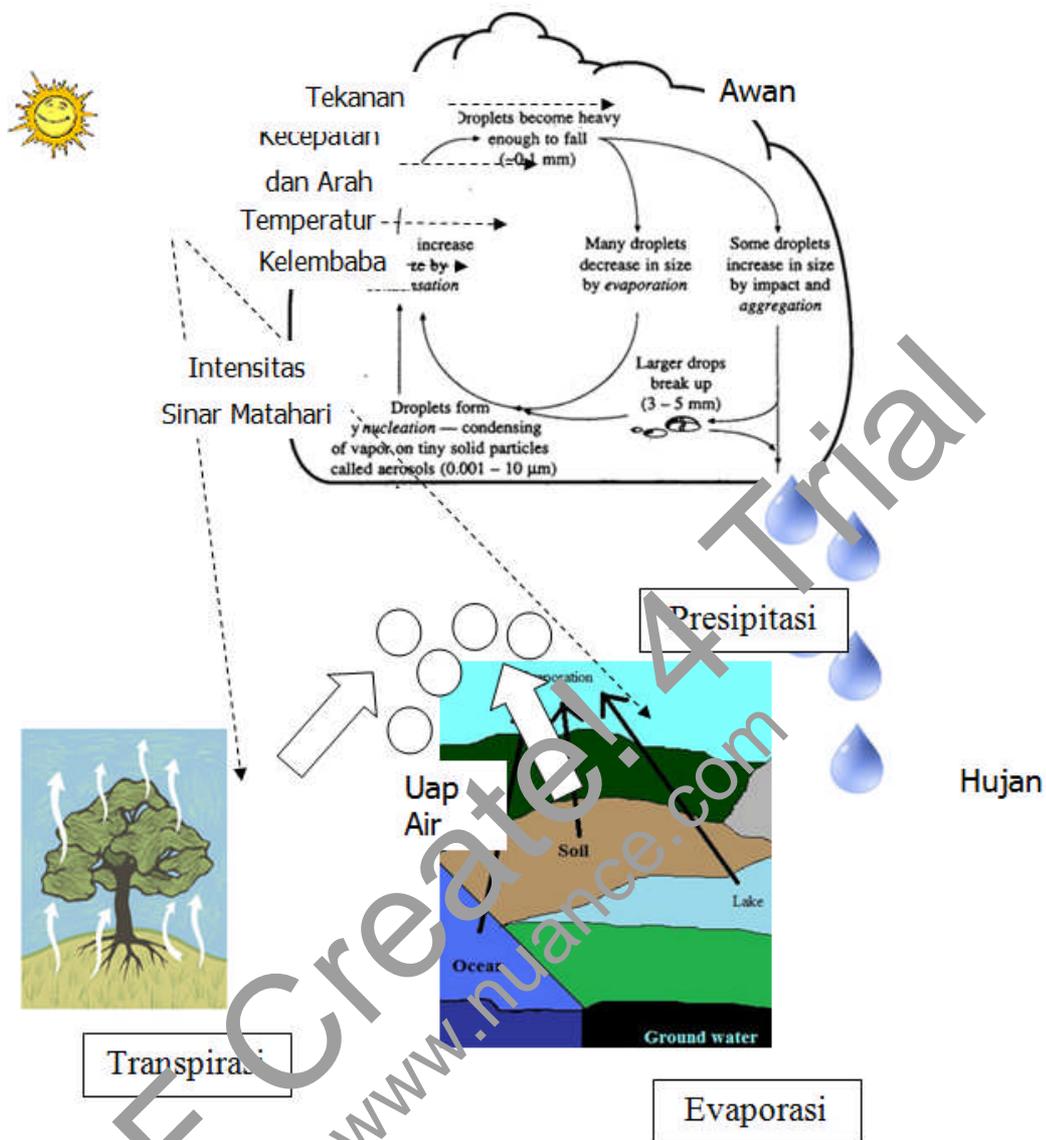


Gambar 8. Proses terjadinya *convective lifting* (Lundquist, 2010)

Ketiga mekanisme ini dapat mengangkat udara dan menghasilkan proses pendinginan yang dibutuhkan untuk mengurangi nilai es dan mendapatkan $RH = 100\%$.



Gambar 9. Perbandingan radius, volume dan kecepatan inti awan dan titik hujan (Elizabeth Shaw, 1994)



Gambar 10. Proses keseluruhan dan parameter yang mempengaruhi hujan (Modifikasi dari Lunquist, 2010)

Setelah uap air mengalami kejenuhan, proses berikutnya dari rangkaian proses hujan adalah terbentuknya titik-titik kecil awan disepanjang inti awan (*Condensation Nuclei*). Inti ini terdapat pada atmosfer dalam orde 0,1 hingga 10 μm dan terbentuk dari proses pembakaran, nitrogen oksida, aerosol, partikel garam, dan lain sebagainya.

Pada Gambar 9, inti awan memiliki radius 0,1 micrometer sebanyak 106 dalam 1 liter dan kecepatan 0,0001 cm/s, terbentuknya titik awan yang akhirnya semakin membesar akan mengakibatkan bertambahnya radius, volume serta kecepatan terminal (Terminal Velocity). Secara garis besar gambaran mengenai proses presipitasi serta parameter yang mempengaruhinya diilustrasikan pada Gambar 10.

C. Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Sementara intensitas curah hujan merupakan perbandingan derivasi jumlah hujan terhadap interval waktu tertentu dalam satuan m/s, mm/menit atau inci/jam. Dalam menentukan intensitas atau laju hujan, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan:

1. Durasi hujan dalam detik, menit atau jam;
2. Kedalaman hujan yang dinyatakan sebagai ketipisan lapisan air pada permukaan dalam mm atau inci;
3. Daerah, adalah luas geografis dari curah hujan dalam km²;
4. Frekuensi terjadinya, biasanya dinyatakan sebagai periode kembali, misalnya sekali dalam 10 tahun.

D. Pengukuran Curah Hujan Menggunakan *Rain Gauge*

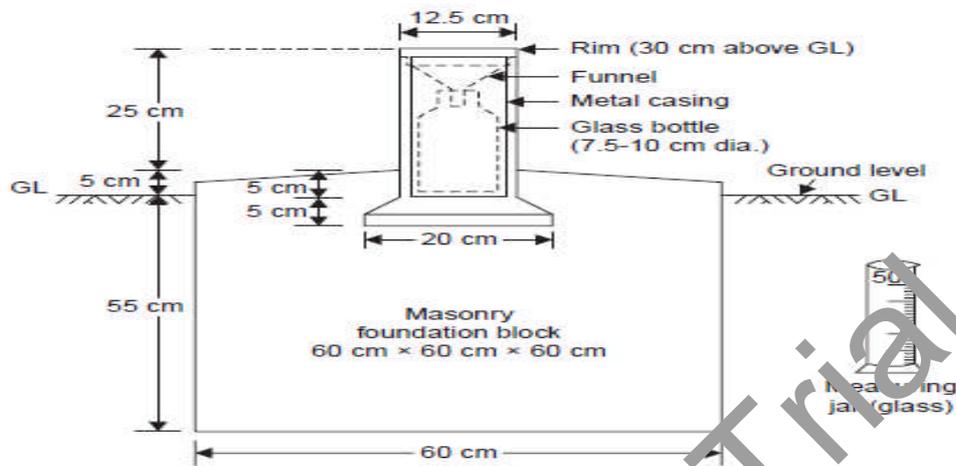
Rain gauge merupakan salah satu cara untuk mengukur curah hujan yang terjadi pada suatu daerah. *Rain gauge* mengukur volume atau berat hujan yang terkumpul dalam sebuah wadah dengan diameter lubang tetap, ukuran lubang perlu distandarisasikan. Area yang disarankan adalah 200 cm^2 dan tipe dari area lubang adalah $200 - 500 \text{ cm}^2$. *Rain gauge* dibagi menjadi 2 tipe, non-recording dan recording.

1. *Rain Gauge Non Recording*

Tipe *non-recording* meliputi *rain gauge* silinder dan *rain gauge* biasa. Pada tipe ini, pengukuran hujan dilakukan secara manual oleh peneliti.

Gambar berikut adalah sebuah *rain gauge* symon yang memiliki cerobong dengan tepi melingkar berdiameter 12,7 cm dan botol kaca sebagai penerima. Pembungkus logam silindernya tetap dan vertikal ke pondasi batu dengan tinggi 30,5 cm di atas permukaan tanah. Hujan jatuh ke corong yang dikumpulkan oleh penerima dan diukur dalam gelas ukur khusus dalam mm. curah hujan yang ketika penuh dapat mengukur 1,25 cm hujan.

Curah hujan diukur setiap hari dan selama hujan keras harus diukur 3 hingga 4 kali sehari. *Rain gauge* tipe ini hanya memberikan kedalaman total dari curah hujan untuk 24 jam sebelumnya (curah hujan harian) dan tidak dapat memberikan intensitas dan durasi hujan selama interval waktu yang berbeda dalam satu hari.



Gambar 11. *Rain gauge symon* (Ragunath, 2007)

2. *Rain Gauge Recording*

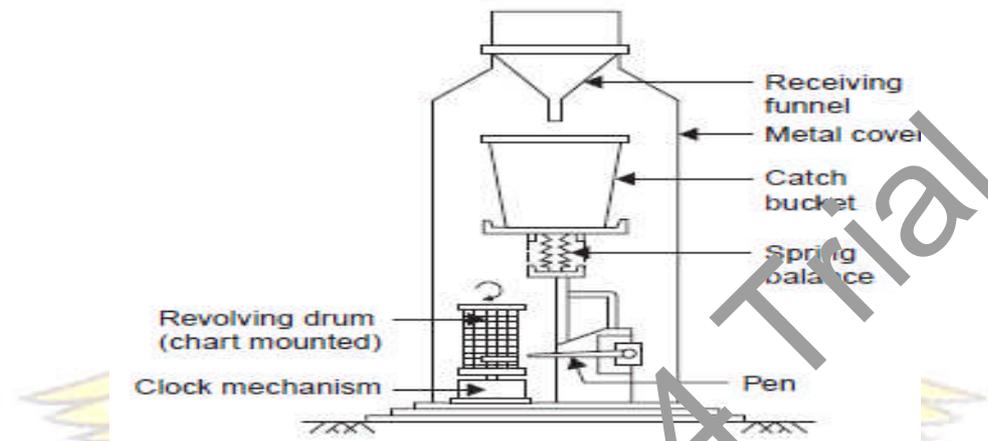
Tipe ini memiliki pengaturan mekanik otomatis yang terdiri dari sebuah jarum jam, sebuah drum dengan sebuah kertas grafik yang tetap dan sebuah ujung pensil yang dapat menggambar kurva massa hujan. Dari kurva ini, kedalaman hujan pada waktu yang ditentukan, intensitas atau laju hujan pada jarak manapun selama badai, waktu permulaan dan penghentian hujan dapat ditentukan.

Tipe ini terbagi atas beberapa model, diantaranya:

a. *Rain gauge tipping bucket*

Terdiri dari penerima silindris berdiameter 30 cm dengan sebuah corong di dalamnya. Di bawah corong, sepasang ember diputar sehingga ketika salah satu ember menerima 0,25 mm hujan akan mengosongkan ke

sebuah tanki di bawahnya, sementara ember lainnya menggantikan posisi ember sebelumnya.

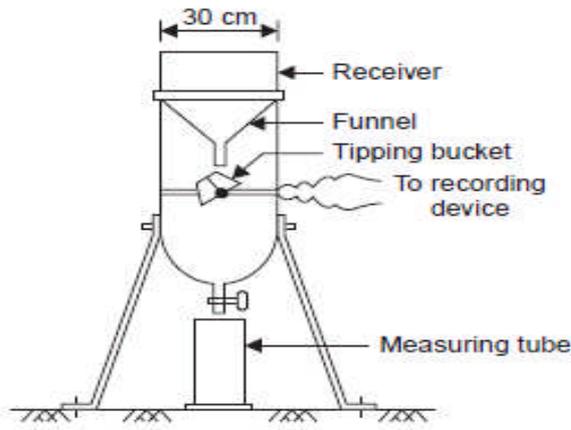


Gambar 12. *Rain gauge tipping bucket* (Ragunath, 2007)

Proses ini terus berulang dari proses *tipping* ini menggerakkan rangkaian listrik yang menyebabkan pensil bergerak pada sebuah chart.

b. Rain gauge tipe weighing

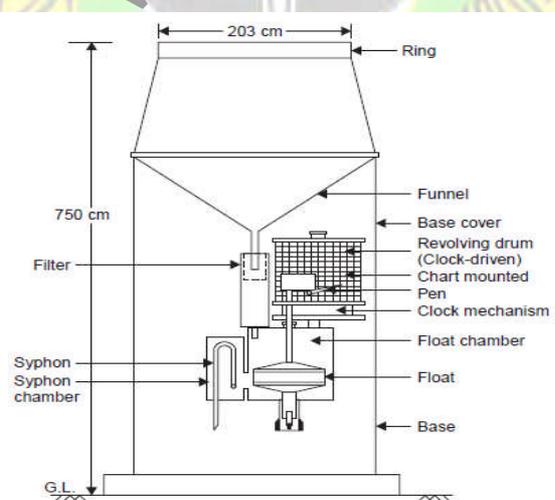
Ketika berat tertentu dari hujan terkumpul dalam sebuah tanki, yang berimpu pada keseimbangan tuas, membuat pensil bergerak pada sebuah chart yang terbungkus mengelilingi drum penggerak. Rotasi drum mengatur skala waktu. Saat gerak vertikal, alat ini merekam hujan kumulatif.



Gambar 13. *Rain gauge tipe weighing* (Ragunath, 2007)

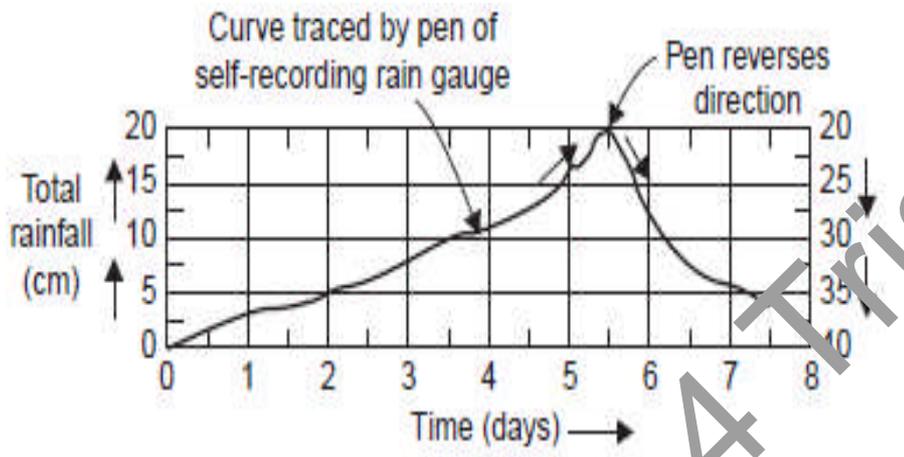
c. *Rain Gauge Tipe Float*

Hujan terkumpul pada suatu ruang mengampung dan bergerak ke t pensil bergerak pada sebuah shart yang terbungkus disekitar drum. Ketika ruang mengampung terisi, air siphon keluar secara otomatis melalui tabung siphon dan disimpan pada ruang siphon yang saling terinterkoneksi. Jarum jam memutari drum sekali dalam 24 jam.



Gambar 14. *Rain gauge tipe float* (Ragunath, 2007)

Gambar berikut menunjukkan kurva massa curah hujan yang merupakan output dari peralatan rain gauge.



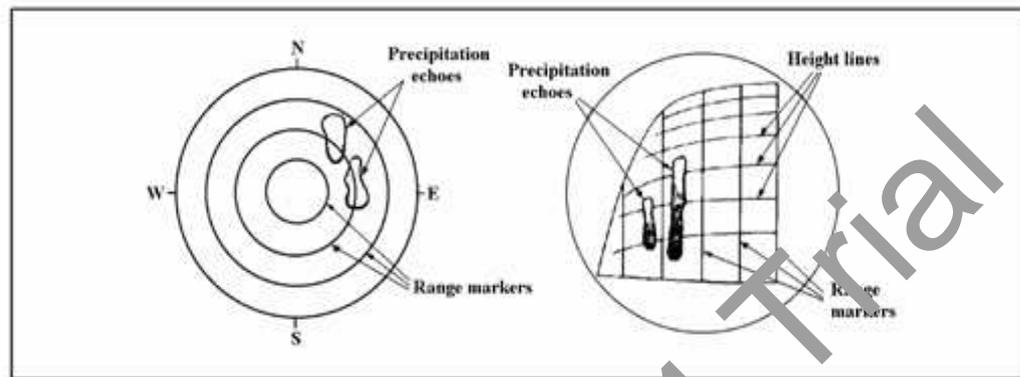
Gambar 15. Kurva massa curah hujan (Ragunath, 2007)

E. Pengukuran Curah Hujan Menggunakan Radar dan Satelit

Biasanya daerah terpencil atau daerah yang sulit terjangkau membutuhkan pengukuran curah hujan menggunakan radar atau satelit. Radar bekerja pada dasar pemantulan pulsa energi yang ditransmisikan oleh radar dan diuraikan menjadi peta-peta yang memberikan lokasi (*Plan Position Indicator, PPI*) dan ketinggian (*Range Height Indicator, RHI*).

Sebuah teknologi yang dapat memonitor curah hujan melalui *remote sensing* yaitu satelit. Geostationary Satelit yang diorbitkan pada kecepatan yang sama dengan rotasi bumi dapat menghasilkan sebuah film mengenai

perkembangan cuaca dengan sebuah interval waktu. Resolusi gambar dalam orde 1 km. Hal ini memungkinkan kita untuk memonitor lebih dekat.



Gambar 16. Bentuk display radar. (a) PPI (b) RHI (P.J.M de Laat et.al., 1976)

F. Menentukan Besaran Curah Hujan

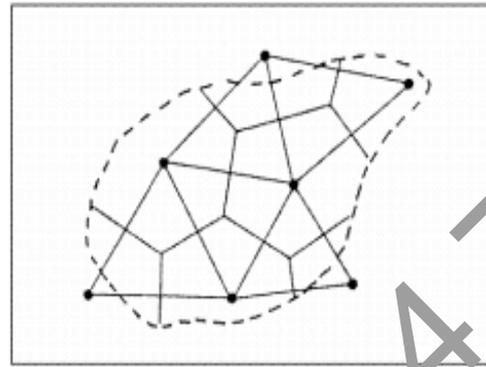
Untuk tujuan teknis, biasanya besaran curah hujan rata-rata pada suatu area atau dikenal dengan area curah hujan (*areal rainfall*) dibutuhkan. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan besaran curah hujan rata-rata pada suatu area dari pengukuran titik.

1. Metode Kedalaman Rata-rata (*Average Depth Method*).

Nilai *mean* dari jumlah curah hujan terukur pada suatu area menyediakan estimasi yang memuaskan untuk hujan yang relatif seragam. Namun, satu dari metode berikutnya lebih tepat untuk daerah pegunungan atau jika *rain gauge* tidak terdistribusi merata.

2. Metode Thiessen

Garis-garis di gambar untuk menghubungkan stasiun curah hujan, termasuk yang berada di luar area yang akan dianalisis. Garis hubung dibelah tegak lurus untuk membentuk sebuah poligon disekeliling stasiun.

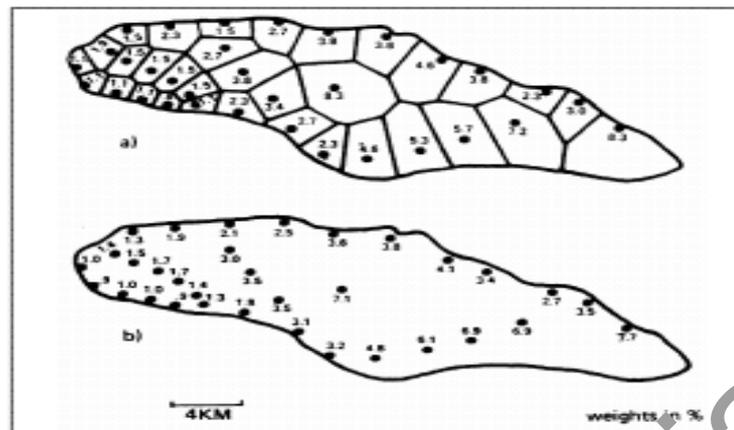


Gambar 17. Metode Thiessen (P.J.M de Laat et.al., 1976)

Untuk menentukan nilai mean jumlah curah hujan dari setiap stasiun dikalikan dengan area dari poligonnya dan jumlah hasil dibagi dengan total area

3. Metode Kriging

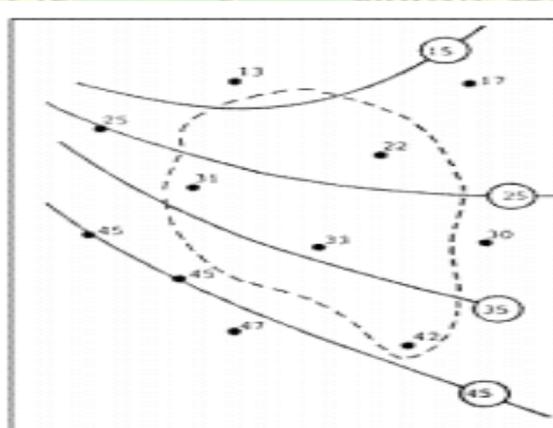
DG Kriges seorang ahli pertambangan, mengembangkan metode untuk interpolasi dan merata-ratakan informasi yang bervariasi. Berbeda dengan metode lainnya, metode ini juga mengindikasikan level akurasi dari estimasi yang dibuat.



Gambar 18. Perbandingan Metode Thiessen (a) dan Metode Kriging (P.J.M de Laat et.al., 1976)

4. Metode Isohyetal

Curah hujan yang diamati untuk periode tertentu digambar pada sebuah peta dan kontur dari kedalaman hujan (Isohyets) juga digambar. Area curah hujan ditentukan dengan mengukur area antara isohyets, mengalikannya dengan hujan rata-rata antara isohyets kemudian membagi jumlah hasilnya dengan total area



Gambar 19. Metode Isohyetal (P.J.M de Laat et.al., 1976)

G. Peramalan Curah Hujan

Peramalan merupakan proses dalam memperkirakan suatu nilai untuk kejadian tertentu pada masa depan dengan metode-metode khusus dan pertimbangan segala parameter yang mungkin mempengaruhi. Peramalan dapat juga dikatakan sebagai suatu estimasi tentang hal-hal yang paling mungkin terjadi pada masa yang akan datang berdasarkan eksplorasi dari masa lalu, sehingga diperlukan data masa lalu untuk mengetahui hubungan antar variabel di dalamnya.

Peramalan dapat dilakukan menggunakan metode statistik misalnya menggunakan data *time series* dan data *cross section*, ataupun bisa juga dengan menggunakan metode sederhana seperti *judgement* dari pembuatnya.

Berdasarkan sifatnya, peramalan dibedakan atas dua macam, yaitu:

1. Peramalan Kuantitatif. Peramalan ini didasarkan atas data kuantitatif masa lalu. Hasil peramalannya sangat tergantung pada metode yang digunakan dalam peramalan tersebut.
2. Peramalan Kualitatif. Peramalan yang didasarkan atas data kualitatif pada masa lalu. Hasil peramalan yang dibuat sangat bergantung pada orang yang menyusunnya. Hal ini penting karena hasil peramalan tersebut ditentukan berdasarkan pemikiran yang intuitif, pendapat, pengetahuan dan pengalaman penyusunnya.

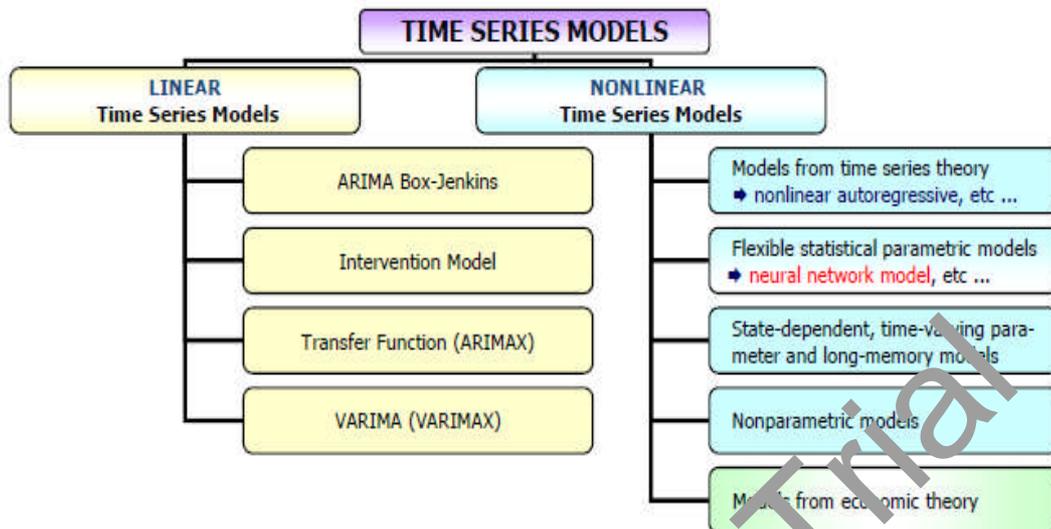
Parameter baik tidaknya suatu metode didasarkan oleh perbedaan atau penyimpangan antara hasil ramalan dengan kenyataan yang terjadi. Semakin kecil penyimpangan antara hasil ramalan dengan kenyataan yang terjadi, maka semakin baik pula metode yang digunakan. Peramalan kuantitatif dapat diterapkan bila terdapat kondisi sebagai berikut:

1. Tersedia informasi (data) tentang masa lalu
2. Informasi (data) tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk data numerik
3. Dapat diasumsikan bahwa beberapa aspek pola masa lalu akan terus berlanjut pada masa yang akan datang.

Kegunaan metode ini adalah untuk memperkirakan secara sistematis dan pragmatis atas dasar data yang telah ada pada masa lalu, dengan demikian metode peramalan diharapkan dapat memberikan objektivitas yang lebih besar.

1. *Time-Series*

Terdapat banyak model dalam *forecasting*. Salah satu yang paling populer adalah *time series forecasting*. *Time series* adalah sekumpulan data yang diukur berdasarkan waktu yang berturut-turut dengan pencacahan waktu yang sama. Analisa *time series forecasting* bertujuan untuk memprediksi data di masa depan berdasarkan data-data di masa lalu.



Gambar 20. Klasifikasi Metode Time Series (Tino Parasvirta, et, al., 2010)

Dalam *time series forecasting*, data historis dari variabel-variabel yang digunakan untuk memprediksi terlebih dahulu dikumpulkan dan dianalisa untuk membentuk model yang dapat menggambarkan hubungan-hubungan di antara observasi yang berbeda waktu. Model yang didapat kemudian digunakan untuk memodelkan pergerakan data di masa depan.

Time series forecasting dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan, sebagai berikut:

- a. *Subjective: forecast* yang dibuat berdasarkan *judgement*, intuisi, dan pengetahuan sebelumnya.
- b. *Univariate* (regresi sederhana): mem-*forecast* nilai di masa depan hanya berdasarkan satu tipe dari nilai-nilai di masa lalu. Contohnya adalah: ekstrapolasi kurva *trend*, *exponential smoothing*.

- c. *Multivariate* (regresi *multivariate*): mem-forecast berdasarkan nilai dari satu atau lebih variabel. Contohnya adalah: model *multiple* regresi linear, dan model-model ekonometri.

Dalam peramalan curah hujan, metode yang umum digunakan adalah:

- a. Metode Regresi
- b. Metode ARIMA dan ASTAR
- c. Metode Kecerdasan Buatan (Jaringan Saraf Tiruan)

Peramalan curah hujan selain digunakan untuk mengetahui kondisi hujan ke depan untuk waktu tertentu, juga digunakan untuk *monitoring* iklim, deteksi kekeringan, cuaca buruk (badai, dll), peringatan dan peramalan banjir serta *monitoring* dan pengontrolan Daerah Aliran Sungai (DAS).

Beberapa peneliti yang akan meramalkan ataupun *monitoring* banjir menggunakan data curah hujan dengan terlebih dahulu melakukan peramalan hujan. Watanabe, *et.al.* (2009) melakukan peramalan ketinggian air pada Sungai Sabu dan Sungai Onga, Jepang dengan menggunakan data curah hujan. Rizyanti, *et.al.* (2011) melakukan peramalan curah hujan dan menggunakan hasil peramalannya sebagai masukan sebuah sistem yang berbasis SCADA yang merupakan solusi untuk pencegahan banjir.

Berdasarkan kebutuhan dan pengolahan, data curah hujan dikategorikan menjadi:

- a. Curah hujan harian
- b. Curah hujan bulanan
- c. Curah hujan tahunan

2. Analisis Regresi

Istilah regresi pertama kali diperkenalkan oleh Francis Galton (1886). Analisis ini berkenaan dengan studi ketergantungan dari suatu variabel yang disebut variabel tak bebas, pada satu atau lebih variabel, yaitu variabel yang menerangkan dengan tujuan untuk memperkirakan ataupun meramalkan nilai-nilai dari variabel tak bebas apabila nilai variabel yang menerangkan sudah diketahui. Variabel yang menerangkan sering disebut variabel bebas.

Metode ini terbagi menjadi dua, yaitu metode regresi linear sederhana dan metode regresi linear berganda.

3. ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*)

Tidak seperti model regresi, yang mana Y_t dapat dijelaskan oleh k buah regressor $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, model ARIMA memungkinkan Y_t dijelaskan oleh nilai Y sendiri di mana lalu ditambah dengan *stochastic error* terlm (Gujarati, 2003, p. 867).

Model ARIMA dapat dibentuk dari dua buah model, yakni model AR(p) (*Auto Regressive*) dan model MA(q) (*Moving Average*). Model AR berbentuk hubungan antara variabel dependen Y dengan variabel dependen Y waktu sebelumnya.

Model MA menunjukkan hubungan variabel dependen Y terhadap nilai-nilai residual pada waktu sebelumnya secara berturutan. P menunjukkan orde autoregressive, dan q menunjukkan notasi orde dari moving average. Proses AR dan MA dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (Y_t - \mu) &= (Y_t - \mu) + (Y_{t-1} - \mu) + \dots + (Y_1 - \mu) - (t-1)\mu \\ &= \sum_{i=1}^{t-1} (Y_i - \mu) + (Y_1 - \mu) - (t-1)\mu \end{aligned} \quad (6)$$

$$= \sum_{i=1}^{t-1} (Y_i - \mu) - (t-1)\mu \quad (7)$$

Persamaan (6) disebut model AR, persamaan (7) disebut model MA. Gabungan keduanya disebut model ARMA. Contoh model ARIMA dapat dilihat pada persamaan (10).

Rumus AR dan MA di atas mengasumsikan bahwa data mengikuti proses yang stasioner. Jika data tidak stasioner, maka perlu melakukan *differencing*, menghasilkan ARIMA (p, d, q), dimana menunjukkan orde differencing sampai didapat data yang stasioner. Model ARIMA (p, d, q) dapat dinyatakan dalam:

$$\phi(B)Y_t = \theta(B) + \epsilon_t \quad (8)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (9)$$

$$\theta(B) = \theta_0 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q \quad (10)$$

Model ARIMA (p, d, q) tersebut merupakan univariate ARIMA, yang berarti variabel dependen Y hanya dipengaruhi oleh pergerakan variabel dependen Y pada waktu sebelumnya. Penelitian ini menggunakan multivariate ARIMA, dikarenakan variabel dependen Y (harga saham masa depan) juga dipengaruhi oleh banyak variabel independen (Xi) waktu sebelumnya. Model multivariate ARIMA dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_t = \mu + \epsilon_t \quad (11)$$

$$\Delta = + \sum \text{---} \Delta () + \text{---} \quad (12)$$

Dimana:

$$= (\text{---} \text{---} \text{---} \text{---}) *$$

$$(1 - \Omega \text{---} \text{---} \text{---}) \quad (13)$$

$$= (1 - \text{---} \text{---} \text{---}) (1 - \text{---} \text{---}) \quad (14)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan untuk multivariate ARIMA.

4. ANN (*Artificial Neural Network*)

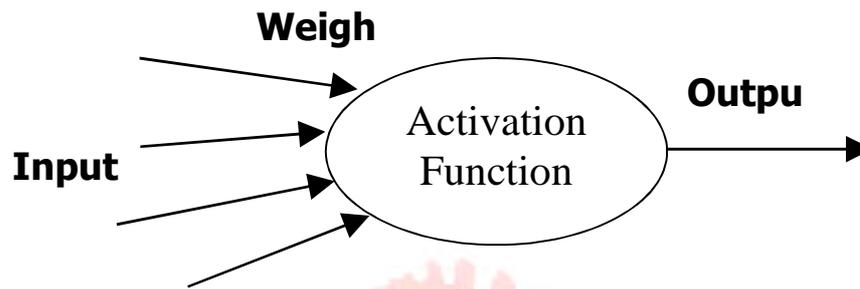
Meskipun model multivariate ARIMA cukup fleksibel dalam memodelkan sebagian besar pola *time series*, kekurangannya adalah bahwa ARIMA mengasumsikan model yang linier. Hal ini menyebabkan model ARIMA tidak dapat menangkap pola-pola yang non-linier yang umum terdapat pada *time series*. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu model yang dapat menangkap pola-pola yang non-linier. Model tersebut adalah model ANN (*Artificial Neural Network*).

Menurut Gershenson (2003) cara yang efisien untuk memecahkan problem yang kompleks adalah memecahkan permasalahan tersebut ke dalam elemen-elemen yang lebih kecil (*divide and conquer*). Model ANN dapat melakukan kegiatan semacam ini.

Model ANN diinspirasi dari sistem saraf makhluk hidup. Saraf menerima sinyal melalui sinapsis yang terletak di *dendrit* atau membran *neuron* adalah

satu sel saraf. Ketika sinyal yang disampaikan cukup kuat (melampaui suatu batas/*threshold* tertentu), *neuron* akan diaktivasi dan akan mentransmisikan sinyal melalui *akson*, dan dapat mengaktivasi *neuron* yang lain. Ketika sejumlah besar *neuron* memproses sinyal dalam waktu bersamaan, maka makhluk hidup dapat memecahkan suatu masalah tertentu yang kompleks. Untuk memecahkan permasalahan yang belum pernah dijumpai dalam hidupnya, makhluk hidup perlu belajar dari pengalaman-pengalamannya di masa lalu, untuk kemudian memutuskan solusi yang tepat.

Konsep yang sama dimodelkan oleh konsep jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) menggunakan program komputer. Ketika sejumlah besar *artificial neuron* memproses data secara bersamaan, maka permasalahan baik ekonomi, bisnis, ataupun permasalahan sehari-hari yang kompleks dapat dipecahkan dengan mudah. Sama seperti saraf makhluk hidup, *artificial neuron* perlu mendapatkan *training*/pelatihan untuk memecahkan permasalahan yang belum pernah ditemui. Memecahkan masalah-masalah yang belum diketahui ini adalah konsep *forecasting*, dimana *artificial neuron* dilatih menggunakan data-data di masa lalu, untuk kemudian dipakai untuk memecahkan masalah-masalah di masa depan yang belum pernah diketahui sebelumnya. Sejumlah besar *artificial neuron* disebut juga *artificial neural network*. Konsep *artificial neuron* yang menjadi dasar ANN dapat digambarkan seperti Gambar 21 berikut ini:

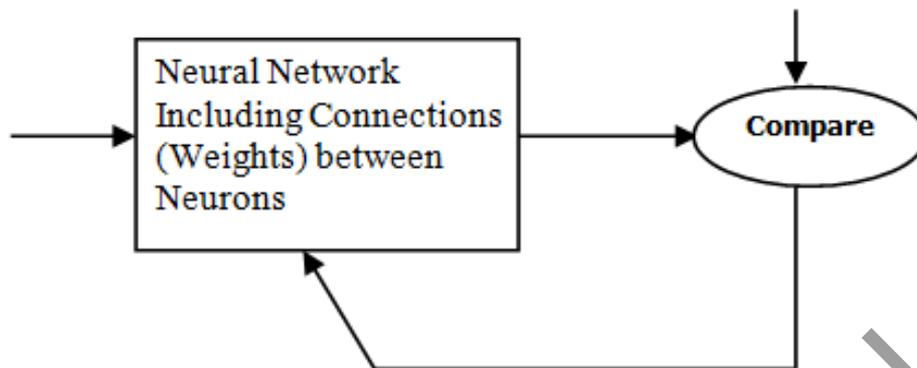


Gambar 21. Konsep artificial neuron (Gershenson, 2003)

Pada dasarnya, *artificial neuron* terdiri dari input (seperti sinapsis), yang kemudian dimultiplikasi oleh *weights* (kekuatan sinyal) dan kemudian dihitung oleh fungsi matematik yang dilambangkan dengan fungsi aktivasi. Jika hasil perhitungan melampaui batas tertentu, maka hasil perhitungan akan ditransmisikan melalui output ke *neuron* yang lain.

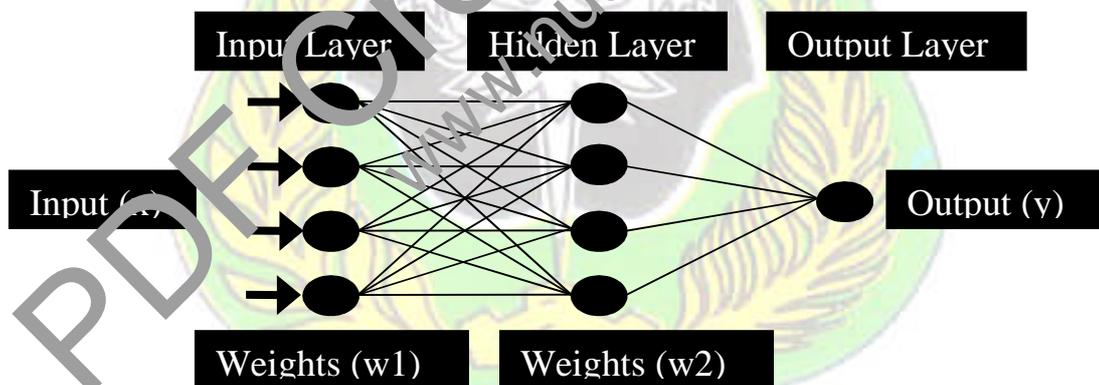
Semakin besar *weights*, maka semakin kuat sinyal input yang dimasukkan ke dalam *neuron*. Dengan mengatur besarnya *weights*, kita bisa mendapatkan output yang diinginkan dengan menggunakan input tertentu. Jika terdapat ratusan atau ribuan *neuron*, sulit menemukan perhitungan yang tepat jika menggunakan perhitungan manual. Oleh karena itu digunakan algoritma yang secara otomatis melakukan perhitungan *weights* ini agar didapat *weights* yang dapat memetakan input menjadi output yang sesuai. Proses perubahan *weights* secara otomatis inilah yang disebut pelatihan/training pada *artificial neural network*.

Gambar 21 memperlihatkan proses perubahan *weights* yang membandingkan antara input dengan target, sehingga didapatkan *weights* yang sesuai.



Gambar 22. Proses pelatihan ANN (Demuth, 2009)

Pada Gambar 22 terdapat abstraksi dari *neural network* yang pada dasarnya dapat memiliki susunan *artificial neuron* seperti pada Gambar 23 berikut:



Gambar 23. Detail ANN (Zhang, 2004a)

Pada Gambar 23 terlihat ANN selain mempunyai *neuron*, *weights*, input, dan output, ANN juga mempunyai *hidden layer*. *Hidden layer* berada

di antara input dan output. *Hidden layer* dapat terdiri dari satu atau lebih *neuron*. Model ANN bisa mempunyai satu atau lebih *hidden layer*.

5. *Hidden Layer* dan Neuron

Hidden layer berpengaruh terhadap kemampuan model ANN untuk menggeneralisasi/aproksimasi suatu fungsi/pola. Penelitian yang dilakukan oleh Iskandar (2010) menghasilkan informasi bahwa cukup diperlukan satu atau dua *hidden layer* saja untuk fungsi aproksimasi ini.

Jumlah *neuron* yang optimal pada *Hidden layer* berpengaruh terhadap keakuratan model ANN dalam mem-forecast suatu deret data. Jika jumlah *neuron* terlalu banyak, maka model cenderung akan tidak mampu menggeneralisasi (menjadi *overfitting*). Ini berarti model hanya berfungsi baik hanya di ruang sampelnya saja, dan apabila di-test menggunakan data yang di luar sampel, maka model ANN akan tidak dapat memprediksi dengan baik. Jika jumlah *neuron* terlalu sedikit, maka yang terjadi adalah model akan tidak dapat memprediksi dengan baik meskipun di-test menggunakan data yang berada di dalam sampel.

6. *Algoritma Back Propagation*

Pada *algoritma back propagation*, vektor input dan vektor target digunakan untuk melatih ANN sampai ANN dapat mengaproksimasi sebuah deret data. Error selisih yang terjadi antara target dengan data yang sebenarnya, dipropagasikan/ditransmisikan kembali ke dalam *network* melalui

hidden layer menuju ke *neuron* input. *Weights* kemudian akan dihitung kembali dan masing-masing *neuron* akan mentransmisikan kembali sinyal ke *hidden layer* dan *neuron* output untuk kemudian akan dihitung kembali *error*/selisih antara target dengan data sebenarnya. Proses ini diulang terus menerus sampai *error* yang terjadi berada dalam *range* yang ditentukan di awal.

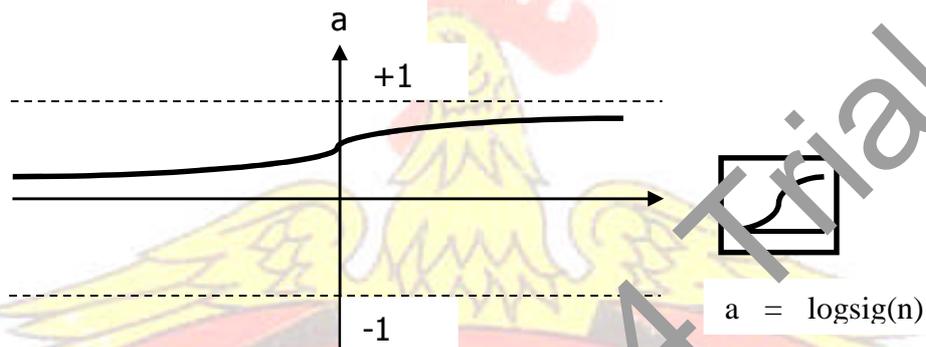
Menurut Siang (2005), algoritma back propagation meliputi tiga fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola input dihitung maju mulai dari input *layer* hingga output *layer* menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fungsi aktivasi akan dibahas di sub bab berikutnya. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara output dengan target adalah *error* yang terjadi. *Error* tersebut dipropagasikan mundur, mulai dari output *layer*, *hidden layer*, sampai ke input *layer*. Fase ketiga adalah modifikasi *weights* untuk menurunkan *error* yang terjadi.

7. Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi digunakan untuk menentukan keluaran/output suatu *neuron*. Parameter fungsi aktivasi adalah kombinasi linier antara input dan *weights*. Dalam *back propagation*, fungsi aktivasi yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat, yaitu kontinyu, terdiferensial dengan mudah, dan merupakan fungsi yang tidak turun.

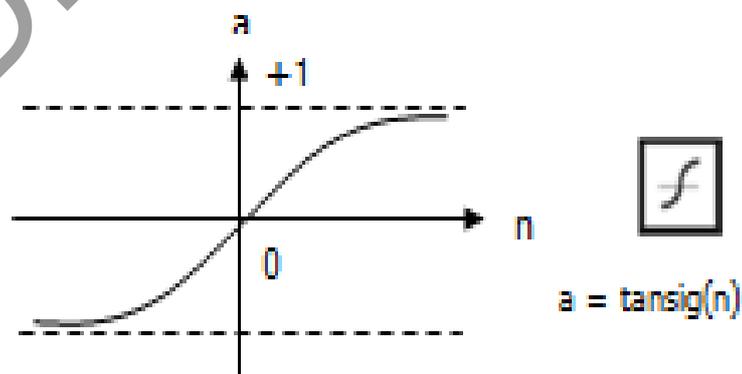
Menurut Buwana (2006), fungsi aktivasi pada ANN digunakan untuk memformulasikan output dari setiap *neuron*. Pada ANN, terdapat tiga jenis fungsi aktivasi, yakni fungsi aktivasi *sigmoid logistic*, *sigmoid tangent*, dan

fungsi aktivasi linier. Fungsi aktivasi *sigmoid logistic* memetakan nilai input antara 0 dan +1. Nilai yang ditransmisikan/diaktivasi ke *neuron* lain berada pada jangkauan 0 dan +1. Grafik fungsi *sigmoid logistic* dapat dilihat pada



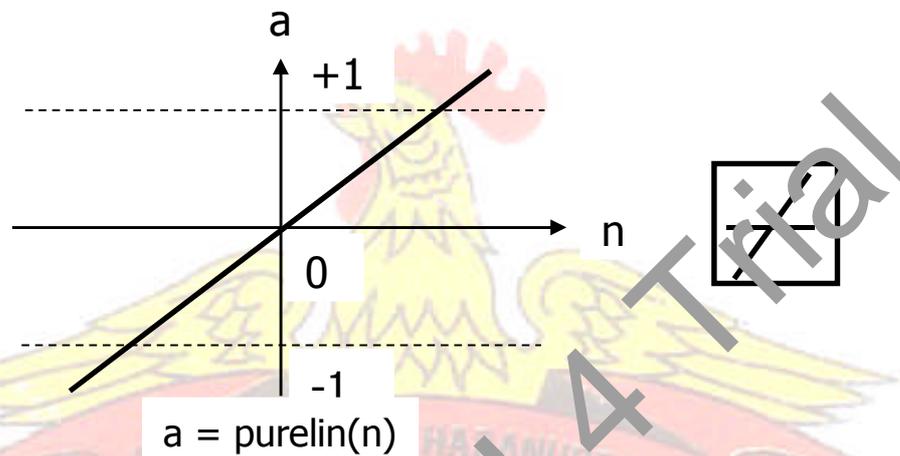
Gambar 24. Fungsi aktivasi sigmoid logistic (Demuth, 2009)

Fungsi aktivasi *sigmoid tangent* memetakan nilai input antara +1 dan -1. Nilai yang ditransmisikan/diaktivasi ke *neuron* lain berada pada jangkauan +1 dan -1. Grafik fungsi aktivasi *sigmoid tangent* dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Fungsi aktivasi sigmoid tangent (Demuth, 2009)

Fungsi aktivasi linier meneruskan nilai input ke *neuron* lain dengan tanpa perubahan nilai aktivasi. Grafik fungsi aktivasi linier dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Fungsi aktivasi linier (Demuih, 2009)

8. *Preprocessing* dan *Postprocessing*

Pelatihan/training pada ANN dapat lebih efisien jika data input dan data target dilakukan pemrosesan terlebih dahulu. Jika data input tidak dilakukan pemrosesan/ditransformasikan, ANN tidak dapat menghasilkan output yang akurat (Mendelsohn, 2007). Data input ditransformasikan ke dalam bentuk yang lebih sederhana melalui proses *preprocessing*. Setelah data diproses oleh ANN, outputnya dikembalikan kembali ke bentuk data semula melalui proses *postprocessing*.

Proses *preprocessing* dan *postprocessing* yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan transformasi minimum-maksimum, sehingga setiap data input ditransformasikan menjadi dalam *range* -1 sampai dengan +1. Menurut Iskandar (2010), pemetaan seperti inilah yang berdampak

maksimum terhadap keakuratan hasil *forecast* model ANN. Algoritma minumum-maksimum adalah sebagai berikut:

$$= \frac{(- \quad - \quad) * (- \quad - \quad)}{(- \quad - \quad)} + \quad - \quad \quad (15)$$

Y adalah nilai diantara -1 dan +1. $y_{max} = +1$, $y_{min} = -1$, dan x_{max} serta x_{min} bergantung pada nilai maksimum dan minimum data inputnya. Proses transformasi balik ke data awal dilakukan dengan mengkurakan invers dari persamaan di atas dengan mencari variabel X.

9. Training Pada *Back Propagation*

Algoritma *Back Propagation* mempunyai bermacam-macam jenis training. Macam-macam training tersebut diantaranya:

a. *Gradient descent Back Propagation*

Pada jenis training ini, *weights* dari ANN di-update berdasarkan *gradient* negatif dari fungsi perubahan *error*-nya.

b. *Gradient descent Back Propagation with momentum*

Metode ini sama dengan *gradient descent*, hanya saja ditambahkan momentum yang memungkinkan ANN merespon tidak hanya kepada local *gradient error*-nya, tetapi juga *trend* yang baru saja terjadi pada perubahan *error*-nya.

c. *Conjugate gradient Back Propagation with Powell-Beale restarts*

Conjugate gradient mencari arah penurunan yang paling curam dari *gradient* penurunan *error*-nya. Terdapat cara yang lebih efisien untuk

meningkatkan efisiensi training, yaitu dengan menerapkan *reset functions*. *Algoritma* ini melakukan *reset* jika ditemui ortogonalitas yang kecil di antara *gradient error* saat ini dengan *gradient iterasi* sebelumnya.

d. *Scaled conjugate gradient Back Propagation*

Setiap *algoritma* yang telah disebutkan sebelumnya memerlukan proses pencarian *gradient error* terkecil pada tiap iterasi pelatihannya. Ini memerlukan waktu yang cukup lama, terlebih jika ANNs yang dilatih mempunyai ukuran yang besar. *Algoritma scaled conjugate gradient* dapat meminimalkan waktu pencarian tersebut, dimana mengkombinasikan pendekatan *trust-region* seperti yang dilakukan oleh *Algoritma Levenberg-Marquardt*.

e. *BFGS quasi-newton Back Propagation*

Algoritma ini merupakan alternatif dari *algoritma conjugate gradient*. *Algoritma* ini konvergen lebih cepat daripada *algoritma conjugate gradient*, akan tetapi perhitungannya lebih rumit dan membutuhkan kapasitas memori yang besar.

f. *Levenberg-Marquardt Back Propagation*

Seperti halnya metode *quasi-newton*, *algoritma* ini didesain untuk meningkatkan kinerja training, tanpa perlu melakukan perhitungan turunan kedua dari perubahan *error*-nya. *Algoritma* ini menggunakan pendekatan (aproksimasi) untuk menghitung turunan kedua perubahan *error*-nya.

g. *Batch training with weight and bias learning rules*

Algoritma ini melatih ANN menggunakan *weight learning rules* dengan *update* secara *batch*. *Weights* di-*update* pada akhir setiap iterasi pelatihan ANN.

h. Bayesian regulation Back Propagation

Algoritma training ini melakukan *update weights* sesuai dengan cara yang dilakukan oleh proses optimisasi *Levenberg-Marquardt*. *Algoritma* ini meminimalisasi kombinasi *squared error* dan *weights* lalu kemudian menentukan kombinasinya yang sesuai untuk menghasilkan ANN yang dapat menggeneralisasi dengan baik.

i. Gradient descent with adaptive learning rate Back Propagation

Algoritma ini melakukan *update pada weight* sesuai dengan metode *gradient descent* dengan *adaptive learning rate*. Pada setiap iterasi *training*, jika *gradient error* menurun ke arah *target error*, maka laju pembelajaran (*learning rate*) ditingkatkan. Jika *gradient error* tidak menurun ke arah *target error*, maka laju pembelajaran (*learning rate*) tidak akan berubah.

j. Gradient descent with momentum and adaptive learning rate Back Propagation

Algoritma ini melakukan *update pada weight* sesuai dengan metode *gradient descent* dengan *adaptive learning rate* dikombinasikan dengan *momentum*.

k. One-step secant Back Propagation

Algoritma BFGS diatas membutuhkan perhitungan yang rumit dan kapasitas memori yang besar dibandingkan *algoritma conjugate gradient*. *Algoritma* ini menggunakan pendekatan (*aproksimasi*) secant sehingga perhitungan rumit tersebut bisa lebih cepat dan tidak membutuhkan banyak kapasitas memori. *Algoritma* ini tidak menyimpan seluruh matriks turunan kedua perubahan *errormya* dengan mengasumsikan matriks turunan kedua pada iterasi sebelumnya adalah matriks identitas. Keuntungannya adalah tidak diperlukan perhitungan matriks invers dalam penentuan *gradient errormya*.

l. Resilient Back Propagation

Algoritma ini merupakan *algoritma back propagation* yang mana perubahan membesar/mengecilnya *weights* ditentukan oleh perubahan tanda (*sign*) dari turunan pertama perubahan *error-nya*.

m. Sequential order incremental training with learning functions

Algoritma ini men-*update* nilai tiap *weights* mengacu kepada fungsi pembelajaran/*learning* berdasarkan urutan waktu dan urutan data input.

H. Variabel Data untuk Peramalan Curah Hujan

Seperti yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, parameter penentu curah hujan merupakan variabel penting dalam peramalan curah hujan yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

1. Intensitas Sinar Matahari

Intensitas sinar matahari adalah banyaknya sinar matahari yang mengenai suatu permukaan tertentu dalam suatu waktu. Parameter ini yang paling mempengaruhi proses penguapan yang merupakan awal terjadinya hujan.

Besarnya intensitas sinar matahari sangat dipengaruhi oleh posisi daerah pada permukaan bumi, semakin mendekati khatulistiwa maka intensitas matahari yang diterima juga semakin besar, sehingga dapat dikatakan semakin besar posisi garis lintang maka intensitas sinar matahari juga semakin kecil.

Radiasi sinar matahari memiliki energi panas yang besar dan sangat mempengaruhi proses penguapan. Proses penguapan ini merupakan proses awal dari terbentuknya hujan. Banyak penelitian yang menghubungkan antara intensitas sinar matahari atau radiasi sinar matahari dengan curah hujan pada suatu tempat.

D. Medvgy, et al. (2012) menyelidiki variasi radiasi sinar matahari dan variasi hujan sejak tahun 1984 hingga 2002, dan menyimpulkan bahwa kenaikan variasi radiasi matahari ini berhubungan dengan naiknya variasi hujan. Sementara *Juan Zhao, et al (2004)* melakukan pengujian hubungan antara aktivitas matahari dengan curah hujan tahunan di Beijing, China dan memperoleh hasil adanya hubungan yang erat antara intensitas matahari dengan curah hujan tahunan. *Guo et.al. (1992)* berkesimpulan bahwa banjir besar (peningkatan curah hujan) akan terjadi pada tahun-tahun dimana aktifitas matahari meningkat, karena meningkatnya energi dari matahari akan menyebabkan tingginya fungsi *thermo-mechanical* atmosfer bumi. *Pederson et*

al. (2001) menemukan bukti adanya pengaruh matahari terhadap curah hujan tahunan dan rekonstruksi *hidro-meteorologi* lainnya di *Northeastern Mongolia* yang berasal dari lingkaran pohon dari tahun 1651 – 1995.

Penelitian empiris mengenai hubungan intensitas/radiasi sinar matahari terhadap curah hujan telah membuktikan kaitannya, kenaikan intensitas sinar matahari akan menyebabkan kenaikan curah hujan pada suatu daerah.

2. Temperatur

Temperatur adalah keadaan panas atau dinginnya udara. Alat untuk mengukur suhu udara atau derajat panas disebut thermometer. Pengukuran dinyatakan dalam skala Celsius (C), Reamur (R), dan Fahrenheit (F). Suhu udara tertinggi di muka bumi adalah di daerah tropis (sekitar ekuator) dan makin ke kutub makin dingin.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu udara suatu daerah adalah:

- a. Lama penyinaran matahari, makin lama matahari bersinar, semakin banyak panas yang diterima bumi.
- b. Sudut datang sinar matahari, yaitu sudut yang dibentuk oleh permukaan bumi dengan arah datangnya sinar matahari. Makin kecil sudut sinar matahari, semakin sedikit panas yang diterima oleh bumi dibandingkan sudut yang datangnya tegak lurus.
- c. Keadaan permukaan bumi (daratan dan lautan).

- d. Banyak sedikitnya awan, ketebalan awan mempengaruhi panas yang diterima bumi. Makin banyak atau makin tebal awan, semakin sedikit panas yang diterima bumi.

Persebaran suhu atau temperatur udara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu persebaran horizontal dan vertikal yakni:

- a. Persebaran suhu atau temperatur udara horizontal.

Suhu atau temperatur udara di permukaan bumi untuk berbagai tempat tidak sama. Untuk mempermudah membandingkannya, maka dibuat peta *isotherm*. *Isotherm* yaitu garis khayal dalam peta yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai suhu atau temperatur udara rata-rata sama. Persebaran horizontal secara tidak teratur dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya.

- b. Persebaran suhu atau temperatur udara vertikal

Semakin naik suhu atau temperatur udara akan semakin turun. Secara umum, setiap naik 100 meter, suhu atau temperatur udara turun $0,5^{\circ}\text{C}$. Ketentuan ini tergantung pada letak dan ketinggian suatu tempat. Adanya perairan, seperti selat dan laut sangat besar peranannya pada mengendalikan suhu atau temperatur, sehingga tidak terjadi perbedaan suhu terendah dan suhu tertinggi yang sangat besar.

Hubungan antara temperatur dengan curah hujan telah banyak diteliti, *Bulshard. T.A, et.al.* (1999) melakukan penelitian mengenai ketergantungan presipitasi terhadap temperatur di *Florence* dan *Livorno*, Italia dan menghasilkan suatu kesimpulan bahwa kenaikan temperatur akan

mengakibatkan penurunan durasi hujan. Korelasi negatif antara hujan dan temperatur permukaan juga ditemukan pada penelitian *Trenberth, et.al* (2005) dan beberapa penelitian lainnya.

Banyak penelitian mengacu pada persamaan *Clausius-Clapeyron* (Pers. II.4) yang telah dijelaskan pada bagian awal, bahwa temperatur mempengaruhi tekanan uap saturasi, yaitu tekanan saat pake udara disaturasikan oleh uap air (proses kondensasi). Kenaikan temperatur menyebabkan penurunan tekanan uap saturasi yang mengakibatkan melambatnya proses kondensasi dan akhirnya menurunkan curah hujan.

3. Kelembaban Udara

Di udara terdapat uap air yang berasal dari penguapan samudera (sumber yang utama). Sumber lainnya berasal dari danau-danau, sungai-sungai, tumbuh-tumbuhan, dan sebagainya. Kelembaban udara (*Humidity*) adalah banyaknya kandungan uap air di atmosfer. Ada dua macam kelembaban udara:

- a. Kelembaban udara absolut, ialah banyaknya uap air yang terdapat di udara pada suatu tempat. Dinyatakan dengan banyaknya gram uap air dalam 1 m³ udara.
- b. Kelembaban udara relatif, ialah perbandingan jumlah uap air dalam udara (kelembaban absolut) dengan jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung oleh udara tersebut dalam suhu yang sama dan dinyatakan dalam persen (%).

Dalam proses hujan, kondisi saturasi antara udara dan uap air juga dipengaruhi oleh kelembaban relatif (*Relative Humidity*). Kenaikan kelembaban ini mengakibatkan kenaikan pada curah hujan. Penelitian Jones, *et.al* (2010) menunjukkan hubungan antara presipitasi, temperatur dan kelembaban relatif dan hasilnya mengindikasikan kelembaban menjadi salah satu penggerak dominan terjadinya presipitasi ekstrim.

4. Tekanan Udara

Kepadatan udara tidak sepadat tanah dan air. Namun udarapun mempunyai berat dan tekanan. Besar atau kecilnya tekanan udara, dapat diukur dengan menggunakan barometer. Orang pertama yang mengukur tekanan udara adalah *Torri Celli* (1643). Alat yang digunakannya adalah barometer raksa. Tekanan udara menunjukkan tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara setiap satuan luas tertentu. Tekanan udara semakin rendah apabila semakin tinggi dari permukaan laut. Satuan dalam ukuran tekanan udara adalah milibar. $1 \text{ mb} = 1 \text{ mm tekanan ar raksa (t.a.r)}$ atau $1013 \text{ mb} = 76 \text{ cm t.a.r} = 1 \text{ atmosfer}$

Garis pada peta yang menghubungkan tempat-tempat yang sama tekanan udaranya disebut isobar. Bidang isobar ialah bidang yang tiap-tiap titiknya mempunyai tekanan udara sama. Jadi perbedaan suhu akan menyebabkan perbedaan tekanan udara. Daerah yang banyak menerima panas matahari, udaranya akan mengembang dan naik. Karena itu, daerah tersebut bertekanan udara rendah.

Hubungan antara curah hujan dan tekanan merupakan hubungan yang berbanding terbalik. Ketika tekanan udara rendah maka curah hujan lebih banyak terjadi dan ketika tekanan yang lebih tinggi maka sedikit hujan turun. Ketika ada tekanan rendah di atmosfer, maka gelembung udara yang naik selalu lebih panas dari udara disekitar. Udara panas akan naik secara bertahap dan ketika naik, udara panas ini akan dingin namun tidak akan secepat udara sekitarnya. Dengan demikian udara ini akan tetap lebih panas dari udara sekitar dan akan terus naik. Tekanan rendah akan menyebabkan kondisi udara tidak stabil. Jika tanah dipanaskan maka udara akan naik. Udara dingin akan menghasilkan kondensasi yang pada akhirnya akan mengarah pada hujan.

Sebaliknya, jika kondisi di atmosfer berada pada tekanan tinggi, maka gelembung udara yang naik selalu lebih dingin dibandingkan udara di sekitar. Udara panas tidak akan terus naik dan akan mendingin. Dengan demikian akan dingin lebih cepat daripada udara disekitar. Tekanan tinggi menyebabkan kondisi udara yang stabil. Jika tanah dipanaskan maka udara tidak akan naik sehingga uap air tidak dapat berkondensasi.

Hubungan tekanan dan hujan yang diteliti *Speer, et.al* (2012) mendapatkan hasil bahwa tekanan pada wilayah yang terletak pada Selatan Inggris mendominasi pola curah hujan. *Speer* juga menemukan hubungan tekanan-hujan merupakan hubungan yang sangat konsisten selama multi-dekade, musiman, bulanan dan harian skala waktu serta menunjukkan bahwa curah hujan Mediterania adalah fenomena kuat yang dipengaruhi oleh perubahan skala besar tekanan. Studi Solot di Hawaii menunjukkan korelasi

antara hujan terhadap anomasi tekanan tertentu di belahan bumi utara (*Riehl*, 1954)

5. Angin

Angin adalah udara yang bergerak. Ada tiga hal penting yang menyangkut sifat angin yaitu:

a. Kekuatan Angin

Menurut hukum *Stevenson*, kekuatan angin berbanding lurus dengan *gradient barometriknya*. *Gradient barometrik* ialah angka yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari dua isobar pada tiap jarak 15 meridian (111 km).

b. Arah Angin

Satuan yang digunakan untuk besaran arah angin disebut derajat ($^{\circ}$). Satu derajat untuk arah angin dari utara, 90 derajat untuk arah angin dari timur, 180 derajat untuk arah angin dari selatan dan 270 derajat untuk arah angin dari barat. Arah angin menunjukkan dari mana datangnya angin dan bukan ke mana angin itu bergerak. Menurut hukum *Buys Ballot*, udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi (maksimum) ke daerah bertekanan rendah (minimum), di belahan bumi utara berbelok ke kanan sedangkan di belahan bumi selatan berbelok ke kiri. Arah angin dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu: *gradien barometrik*, rotasi bumi, dan kekuatan yang menahan (rintangan).

Makin besar *gradient barometrik*, makin besar pula kekuatannya. Angin yang besar kekuatannya makin sulit berbelok arah. Rotasi bumi, dengan bentuk bumi yang bulat, menyebabkan pembelokan arah angin. Pembelokan angin di ekuator sama dengan 0 (nol). Makin ke arah kutub pembelokannya makin besar. Pembelokan angin yang mencapai 90° sehingga sejajar dengan garis isobar disebut *angin geotrofik*. Hal ini banyak terjadi di daerah beriklim sedang di atas samudera. Kekuatan yang menahan dapat membelokkan arah angin. Sebagai contoh, pada saat melalui gunung, angin akan berbelok ke arah kiri, ke kanan atau ke atas.

c. Kecepatan angin

Atmosfer ikut berotasi dengan bumi, molekul-molekul udara mempunyai kecepatan gerak ke arah timur, sesuai dengan arah rotasi bumi. Kecepatan gerak tersebut disebut kecepatan linier. Bentuk bumi yang bulat ini menyebabkan kecepatan linier makin kecil jika makin dekat ke arah kutub. Alat untuk mengukur kecepatan angin diukur dengan menggunakan *anemometer*.

Kecepatan Angin erat kaitannya dengan penguapan seperti yang telah dijelaskan pada bagian Penguapan dan hubungan ini lebih jelas teridentifikasi pada persamaan (1). Semakin besar kecepatan angin maka laju penguapan juga semakin besar sehingga memperbesar curah hujan.

Raymond et.al. (2003) memaparkan dalam penelitiannya bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka akan semakin banyak penguapan dan semakin banyak fluks panas latent dari lautan ke atmosfer. Kenaikan angin permukaan rata-rata pada suatu daerah dan periode akan

meningkatkan curah hujan seiring dengan peningkatan fluks panas latent tersebut.

Back et.al (2005) melakukan kajian serupa, yaitu meneliti hubungan antara kecepatan angin dan curah hujan pada daerah Pasifik dan mendapatkan hubungan yang sangat kuat di antara keduanya. Semakin besar kecepatan angin, maka semakin besar pula curah hujan yang terjadi.

6. Curah Hujan

Curah hujan merupakan jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Curah hujan diukur dalam harian, bulanan, dan tahunan. Hujan merupakan unsur iklim yang paling penting di Indonesia karena keseragamannya sangat tinggi baik menurut waktu maupun tempat, sehingga kajian tentang iklim lebih baik diarahkan pada hujan. Hujan adalah salah satu bentuk dari presipitasi, presipitasi adalah sebuah proses jatuhnya butiran air atau kristal es ke permukaan bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau milimeter (1 inci = 25,4 mm). Curah hujan sebesar 1 mm artinya adalah tinggi air hujan yang terukur setinggi 1 mm pada daerah seluas 1 m². Tinggi curah hujan diasumsikan sama disekitar tempat penakaran, luasan yang tercakup oleh sebuah penakaran curah hujan tergantung pada homogenitas daerahnya maupun kondisi cuaca lainnya.

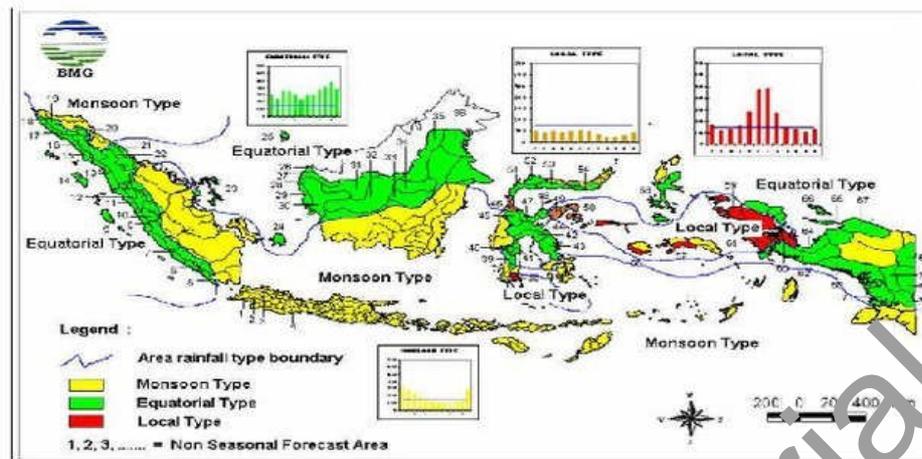
Definisi hujan menurut standar *internasional World Meteorological Organization* (WMO) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi curah hujan menurut standar internasional (WMO)

Kriteria Hujan	Intensitas Hujan
Sangat Ringan	< 5.0 mm
Ringan	5.0 – 20 mm
Sedang/Normal	20 – 50 mm
Lebat	50 – 100 mm
Sangat Lebat	> 100 mm

Pola curah hujan di wilayah Indonesia tidak sama. Hal tersebut karena perbedaan letak geografis. Secara klimatologis pola hujan di Indonesia dapat dibagi menjadi tiga pola yaitu:

- Pola monsoon, dicirikan bentuk unimodal yakni terdapat perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau.
- Pola hujan equatorial, yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan bimodal (dua puncak musim hujan) yang biasanya terjadi di bulan Maret dan Oktober yaitu pada saat matahari berada dekat ekuator.
- Pola hujan lokal, dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodal (satu puncak hujan) yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan tetapi bentuknya berlawanan dengan pola monsoon.

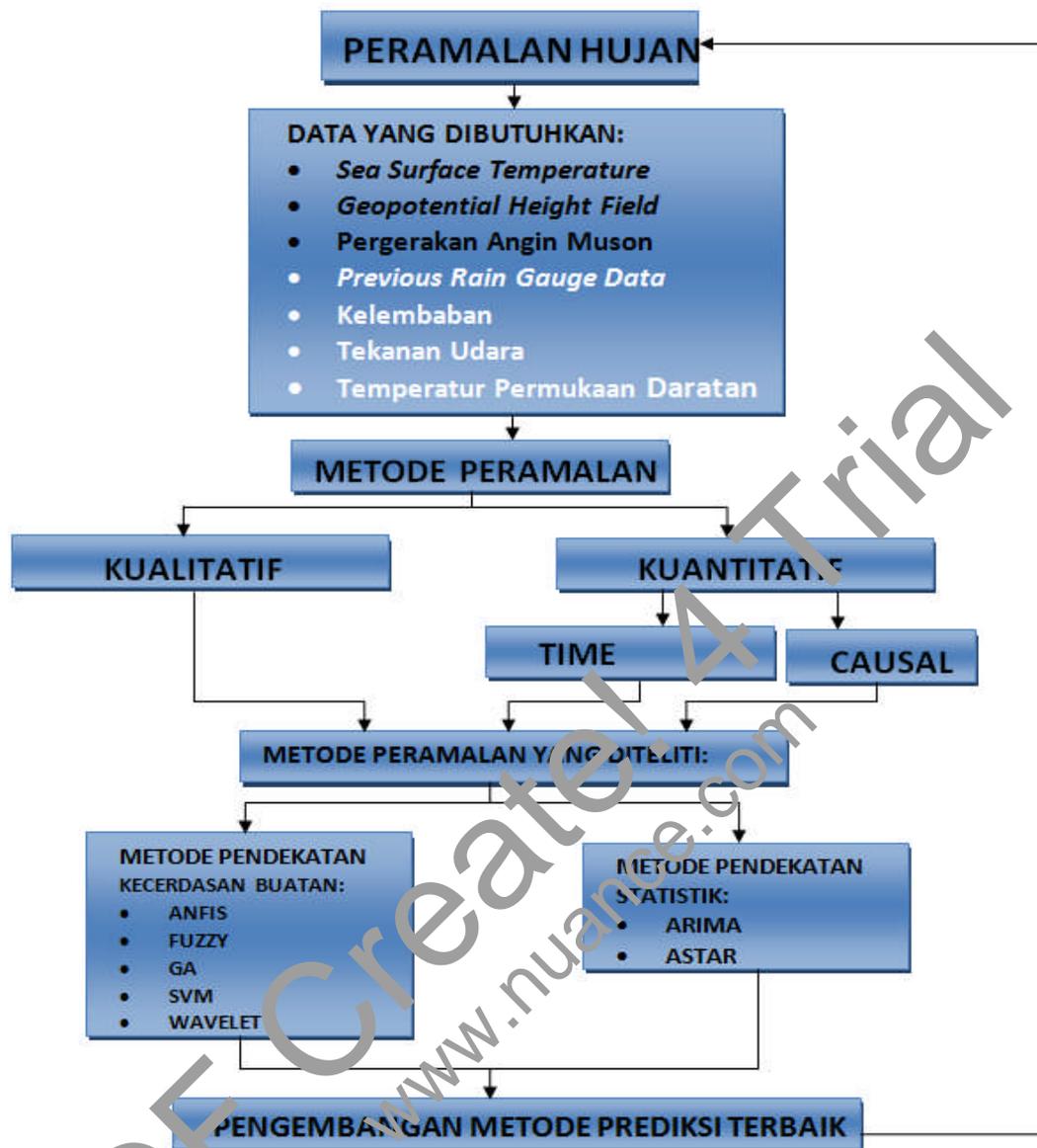


Sumber: Pola curah hujan 2008, BMG

Gambar 27. Wilayah Indonesia berdasarkan pola hujan (Istriana, 2009)

Data curah hujan masa lalu merupakan salah satu variabel yang penting untuk melakukan peramalan curah hujan, variabel ini bersama kelima variabel lainnya (intensitas matahari, temperatur udara, kelembaban relatif, tekanan udara dan kecepatan angin) merupakan parameter input pada metode peramalan hujan yang akan digunakan, dalam hal ini metode *Artificial Neural Network*, dengan demikian akan diperoleh hasil peramalan curah hujan harian yang akurat.

I. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 28. Kerangka pikir penelitian