

SKRIPSI

**PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA
*SUPPORT VECTOR REGRESSION***

Disusun dan diajukan oleh:

LUTFI QADRI

D42116012



DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA
SUPPORT VECTOR REGRESSION

Disusun dan diajukan oleh

LUTFI QADRI

D42116012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 24 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Indrabayu, ST., MT., M. Bus. Sys.
Nip. 197507162002121004



Anugrayani Bustam, S.T., M.T.
Nip. 199012012018074001

Ketua Program Studi,



Dr. Indrabayu, S.T., M.T., M. Bus. Sys.
Nip. 19750716 200212 1 004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lutfi Qadri
NIM : D42116012
Departemen : Teknik Informatika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini karya tulisan saya berjudul:

PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA *SUPPORT VECTOR REGRESSION*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 26 Oktober 2022

Yang menyatakan,



Lutfi Qadri

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam, Dzat yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VECTOR REGRESSION”. Tak lupa selawat dan salam senantiasa tercurah atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umatnya hingga akhir zaman. Amin.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan jenjang Strata-1 pada Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini tak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka pada kesempatan kali ini, penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua Orang tua penulis, Bapak Makkasau dan Ibu Rosmini dan kakak-kakak di kampung, yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat hingga penulis mampu mencapai titik ini.
2. Bapak Dr. Indrabayu S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM dan Ibu Anugrayani Bustamin, S.T., M.T selaku Pembimbing I dan Pembimbing II, atas kesabarannya dalam memberikan arahan, motivasi, bantuan serta bersedia meluangkan waktu dalam membimbing penulis selama proses penelitian.
3. Segenap Dosen dan Staf Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan banyak ilmu serta dukungan selama masa perkuliahan.
4. Teman-teman seperjuangan LAB AI di seluruh angkatan untuk motivasi, bantuan, semangat, inspirasi, dan ilmunya yang diberikan kepada penulis.

5. Saudara-saudara IGNITER 2016 atas semangat, motivasi dan hiburannya yang diberikan selama ini.
6. Serta semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga diharapkan pembaca dapat memberikan kritik ataupun saran sehingga penulis dapat secara bertahap memperbaiki untuk skripsi yang lebih baik. Demikian tugas akhir ini, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Akhir kata penulis ucapkan semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya Amin.

Makassar, 26 Mei 2022

Penulis

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang setiap regionalnya memiliki variasi yang berbeda, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami musim kemarau dan musim hujan yang selalu bergantian tiap tahunnya. Dengan letak geografis tersebut, wilayah Indonesia rentang terhadap perubahan iklim terutama cuaca ekstrim yang dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan lain-lain. Hal tersebut terjadi akibat perubahan pola curah hujan yang tinggi dan naik turun setiap tahunnya, juga minimnya informasi tentang seberapa besar curah hujan yang akan turun pada suatu tempat dalam kurun waktu tertentu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat sebuah sistem yang mampu secara baik melakukan peramalan curah hujan di masa mendatang. Dataset yang digunakan untuk melakukan peramalan diperoleh dari proses perekaman data meteorologi dari hasil perancangan miniatur stasiun cuaca. Data meteorologi tersebut terdiri dari beberapa variabel yang mempengaruhi curah hujan antara lain, arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, suhu, kelembapan, dan curah hujan yang turun. Adapun data yang dikumpulkan berjumlah 16.003 data, dimana 13.602 data digunakan dalam tahap *training* dan 2.401 data digunakan dalam tahap *testing*. Untuk peramalan curah hujan menggunakan metode *Support Vector Regression* (SVR). Parameter yang digunakan yakni kernel RBF, *Cost* (C), = 5, epsilon (ϵ) = 0,01, dan gamma (γ) = 0,1, yang hasil optimasi parameter tersebut diperoleh dari metode *Grid Search*. Pada penelitian ini, metode SVR dapat diimplementasikan dengan baik dengan hasil evaluasi menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0,00012.

Kata kunci: Peramalan, curah hujan, *support vector regression*, *grid search*, *mean squared error*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Pengertian Hujan.....	6
B. Proses Terjadi Hujan.....	6
C. Variabel Data yang mempengaruhi Peramalan Curah Hujan.....	10

D. Peramalan Curah Hujan	13
BAB III	45
METODOLOGI PENELITIAN.....	45
A. Tahapan Penelitian.....	45
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	47
C. Instrumen Penelitian	47
D. Teknik Pengambilan Data.....	48
E. Tahap Pemasangan Alat.....	49
F. Collecting Data	51
G. Perancangan Sistem Prediksi	56
BAB IV	66
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
A. Hasil Rancangan Alat.....	66
B. Hasil Implementasi Sistem	69
BAB V	81
PENUTUP.....	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Hidrologi	10
Gambar 2. 2 PolarMusiman (<i>seasonal</i>)	14
Gambar 2. 3 PolacHorizontal.....	15
Gambar 2. 4 Pola Siklis (<i>cyclical</i>)	15
Gambar 2. 5 Pola <i>Trend</i>	16
Gambar 2. 6 Proses KDD (Hermawati, 2015)	17
Gambar 2. 7 (a) <i>Rain Gauge</i> (b) Tampak dalam <i>Rain Gauge</i>	21
Gambar 2. 8 Kalibrasi Sensor <i>Rain Gauge</i>	21
Gambar 2. 9 <i>Anemometer</i>	23
Gambar 2. 10 Kalibrasi <i>Anemometer</i>	23
Gambar 2. 11 (a) <i>Wind Vane</i> (b) <i>Output Wind Vane</i>	25
Gambar 2. 12 <i>AM2320</i>	25
Gambar 2. 13 Kalibrasi <i>AM2320</i>	26
Gambar 2. 14 <i>BMP280</i>	27
Gambar 2. 15 Skematik Alat Stasiun Cuaca	28
Gambar 2. 16 Flowchart Program Pembacaan Sensor Stasiun Cuaca.....	29
Gambar 2. 17 Ilustrasi SVM	32
Gambar 2. 18 Ilustrasi <i>Support Vector Regression</i>	33
Gambar 2. 19 <i>Insensitive zone</i> (a) <i>original input space</i> , dan (b) <i>feature space</i>	34
Gambar 2. 20 Ilustrasi <i>SVR Output</i> (a) dan ϵ - <i>insensitive loss function</i> (b).....	36
Gambar 2. 21 <i>Cross Validation</i>	39
Gambar 2. 22 Penggunaan Kernel	40
Gambar 2. 23 <i>Linear Shape</i>	42
Gambar 2. 24 <i>Polynomial Shape</i>	42

Gambar 2. 25 RBF <i>Shape</i>	43
Gambar 3. 1 Tahapan penelitian	45
Gambar 3. 2 Alur Teknik Pengambilan Data.....	49
Gambar 3. 3 Penyangga Alat Stasiun Cuaca	50
Gambar 3. 4 Penempatan Alat Stasiun Cuaca	50
Gambar 3. 5 Grafik Data Arah Angin.....	52
Gambar 3. 6 Grafik Data Kecepatan Angin.....	53
Gambar 3. 7 Grafik Data Tekanan Udara	54
Gambar 3. 8 Grafik Data Suhu	54
Gambar 3. 9 Grafik Data Kelembapan	55
Gambar 3. 10 Grafik Data Curah Hujan	56
Gambar 3. 11 <i>Preprocessing</i>	56
Gambar 3. 12 <i>Flowchart Training dan Testing</i>	60
Gambar 4. 1 (a)Skematik Alat, (b)Perakitan Sensor pada Penyangga, dan (c)Pemasangan Alat secara Lengkap.....	67
Gambar 4. 2 Pembuatan <i>Channel</i>	67
Gambar 4. 3 Stasiun Cuaca yang sedang beroperasi	68
Gambar 4. 4 Hasil Perekaman Data di <i>ThingSpeak</i>	69
Gambar 4. 5 Hasil <i>export</i> data dari <i>ThingSpeak</i>	69
Gambar 4. 6 Visualisasi Data <i>Testing</i>	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi curah hujan menurut standar internasional WMO.....	13
Tabel 2. 2 Hasil Kalibrasi <i>Rain Gauge</i>	22
Tabel 2. 3 Hasil Kalibrasi <i>Anemometer</i>	24
Tabel 2. 4 Hasil Kalibrasi AM2320.....	26
Tabel 3. 1 <i>Collecting Data</i>	51
Tabel 3. 2 Kernel dan Parameter yang digunakan	61
Tabel 4. 1 Potongan Data sebelum <i>Cleaning Data</i>	70
Tabel 4. 2 Potongan Data setelah <i>Cleaning Data</i>	70
Tabel 4. 3 Sebelum Normalisasi	71
Tabel 4. 4 Sesudah Normalisasi.....	72
Tabel 4. 5 Tabel Pembagian Data <i>Training</i> dan <i>Testing</i>	73
Tabel 4. 6 Data <i>Training</i>	74
Tabel 4. 7 Performa Model dengan parameter <i>default</i>	75
Tabel 4. 8 Rentang Nilai Parameter pada <i>Grid Search</i>	76
Tabel 4. 9 Performa Model setelah dilakukan <i>Tuning</i> Parameter.....	78
Tabel 4. 10 Data <i>Testing</i>	78
Tabel 4. 11 Performa Model pada Data <i>Testing</i>	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berada di garis khatulistiwa. Sehingga wilayah Indonesia memiliki musim kemarau dan musim penghujan. Dua musim ini sangat berpengaruh terhadap aktivitas masyarakat, salah satu faktor yang penting adalah curah hujan. Curah hujan atau sering disebut presipitasi dapat diartikan sebagai jumlah air hujan yang turun di daerah tertentu dalam satuan waktu tertentu. Jumlah curah hujan merupakan volume air yang terkumpul di permukaan bidang datar dalam suatu periode tertentu (harian, mingguan, bulanan, atau tahunan). Curah hujan mempengaruhi aktivitas manusia seperti bidang transportasi, bidang pertanian, bidang pembangunan atau bahkan bidang olahraga sekalipun. Jika pada suatu waktu intensitas curah hujan sangat tinggi yang menyebabkan cuaca ekstrim dimana kondisi curah hujan turun secara berlebih dari rata-rata kondisi normalnya, maka akan menimbulkan permasalahan seperti banjir dan permasalahan lainnya. Peramalan atau *forecasting* adalah seni dan ilmu untuk memperkirakan kejadian di masa mendatang, hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menggunakan data-data historis dan proses kalkulasi, selain itu peramalan harus memiliki model yang akurat agar hasil yang diperoleh memiliki akurasi yang tinggi (Heizer & Render, 2011). Beberapa kenyataan ini menunjukkan bahwa curah hujan khususnya di Indonesia sangat labil, kompleks dan memiliki variabilitas yang sangat besar. Hal ini menyebabkan curah hujan di Indonesia sulit diprediksi secara akurat menggunakan metode tradisional. Bahkan dalam bidang klimatologi, curah hujan di Indonesia menjadi salah satu faktor yang paling sulit diramalkan secara akurat (Indrabayu, dkk, 2013).

Dengan intensitas curah hujan yang selalu berubah dari waktu ke waktu dan pentingnya bagi kehidupan manusia maka diperlukan alat pemantau cuaca sebagai penyedia informasi akan data meteorologi, selain itu diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan peramalan curah hujan dengan data meteorologi yang telah dikumpulkan. Dengan adanya data meteorologi yang tersedia dan sistem peramalan, akan membantu dalam mengantisipasi kemungkinan kejadian-kejadian atau bencana yang akan terjadi akibat cuaca ekstrim di masa mendatang. Adapun parameter-parameter seperti arah angin, kecepatan angin, tekanan, suhu, kelembapan, dan curah hujan yang menjadi komponen-komponen utama dalam proses peramalan nantinya (Pradana, 2018). Pendekatan yang didukung menggunakan teknologi yang tersedia merupakan penerapan sistem peramalan curah hujan yang ada saat ini. Prediksi yang dilakukan adalah prediksi berdasarkan urutan waktu (*time-series*). Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, para peneliti terdorong untuk terus menerus melakukan penelitian dan mengembangkan metode-metode untuk memenuhi kebutuhan akan informasi dalam peramalan curah hujan.

Dalam penelitian ini dibuatlah sistem yang dapat membantu memprediksi kondisi curah hujan. Memprediksi dapat menggunakan teknik *data mining*. *Data Mining* merupakan proses ataupun kegiatan untuk mengumpulkan data yang berukuran besar kemudian mengekstraksi data tersebut menjadi informasi-informasi yang nantinya dapat digunakan (Saleh, 2015). Peramalan curah hujan sering kali menghasilkan data yang *nonlinear*, oleh karena itu akan digunakan metode *Support Vector Regression* (SVR) dalam hal memprediksi kondisi curah hujan dimasa mendatang. SVR dapat menangkap kasus non-linearitas dengan menggunakan fungsi kernel dan juga dapat menghasilkan data yang terbaik walaupun dengan jumlah data yang sedikit (Santosa, 2007).

Model *Support Vector Regression* (SVR) merupakan model peramalan yang dapat digunakan untuk memprediksi data deret waktu *nonlinear*. SVR adalah modifikasi *Support Vector Machine* (SVM) yang digunakan untuk pendekatan regresi. Keunggulan SVR adalah memiliki kemampuan generalisasi yang sangat baik, dengan akurasi prediksi yang tinggi, selain itu SVR mampu untuk mengatasi masalah data *nonlinear* dengan trik kernel. *Kernel Trick* atau trik kernel adalah metode yang digunakan untuk memetakan data *non-linear* berdimensi rendah dan mengubahnya ke dalam ruang dimensi yang lebih tinggi. Tujuannya untuk memudahkan dalam menemukan *hyperplane* yang dapat memisahkan *dataset* dengan baik. Dalam SVR terdapat parameter *cost* (C), *epsilon* (ϵ), dan *gamma* (γ) yang ditentukan nilai optimalnya menggunakan metode *grid search*. *Grid search* merupakan kombinasi parameter yang diujikan pada suatu model SVR untuk mencari nilai *error*. Selain itu *grid search* dapat membagi jangkauan parameter yang akan dioptimalkan ke dalam *grid* dan melintasi semua titik untuk mendapatkan parameter yang optimal.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini digunakan metode SVR yang dipadukan dengan *grid search* untuk melakukan proses peramalan data curah hujan yang mempunyai pola *nonlinear*. Data yang diambil merupakan data harian di Kelurahan Romang Lompoa, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Harapannya bahwa model SVR dengan hasil optimasi parameternya menggunakan *grid search* serta menggunakan trik kernel mampu mengatasi pola data *nonlinear* pada data curah hujan. Pada akhirnya, hasil peramalan menggunakan metode SVR yang dikombinasikan dengan *grid search* akan dihitung keakuratan peramalannya dengan melihat nilai *Mean Squared Error* (MSE). Model yang terbaik adalah model yang memiliki nilai MSE lebih kecil. Dengan memiliki model yang akurat akan mendapatkan hasil peramalan yang akurat pula.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka pada penelitian ini akan dibangun sistem “**Prediksi Curah Hujan Dengan Menggunakan Algoritma *Support Vector Regression***”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang miniatur stasiun cuaca untuk pengumpulan data meteorologi?
2. Bagaimana membangun sistem prediksi curah hujan dengan data meteorologi yang ada dengan metode *Support Vector Regression*?

C. Tujuan Penelitian

1. Dapat merancang miniatur stasiun cuaca untuk pengumpulan data meteorologi
2. Dapat membangun sistem prediksi curah hujan dengan data meteorologi yang ada dengan metode *Support Vector Regression*.

D. Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi acuan untuk memenuhi kebutuhan informasi dalam memprediksi kondisi curah hujan.
2. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menambah referensi bagi peneliti berikutnya dalam memprediksi curah hujan.
3. Dapat memberikan informasi yang akurat untuk masyarakat terkait prediksi curah hujan yang akan datang, baik dalam sektor pertanian, pembangunan maupun sektor-sektor yang lain.

E. Batasan Masalah Penelitian

1. Parameter yang digunakan untuk peramalan curah hujan yaitu arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, suhu, kelembapan, dan curah hujan.

2. Metode yang digunakan adalah *Support Vector Regression* (SVR).
3. Batas wilayah Penelitian yaitu Kelurahan Romanglompoa, Kec Bontomarannu, Kab Gowa. Tepatnya Gedung Elektro, Kampus II Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran singkat mengenai isi tulisan secara keseluruhan, maka akan diuraikan beberapa tahapan dari penulisan secara sistematis, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan secara umum mengenai hal yang menyangkut latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang uraian teori-teori yang mendukung dalam pembuatan sistem ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang perencanaan dan penerapan algoritma serta teknik pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Hujan

Hujan adalah proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butir air yang cukup berat untuk jatuh ke permukaan bumi karena dua proses yang mungkin dapat mendorong udara semakin jenuh menjelang hujan, yaitu pendinginan udara dan penambahan uap air ke udara. Menurut *Kamus Besar Bahasa Indonesia* (KBBI), hujan adalah titik-titik air berjatuhan dari udara karena proses pendinginan. Hujan berasal dari uap air di atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Triatmodjo, 1998). Sedangkan menurut (Subarkah, 1980) hujan adalah sebuah proses kondensasi uap air, terutama air laut yang naik ke atmosfer, dan mendingin, kemudian menyuling dan jatuh sebagian di atas laut dan sebagian di atas daratan.

Dari beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa hujan adalah suatu peristiwa turunnya butiran-butiran air dari atmosfer ke permukaan bumi. Hal ini terjadi karena titik-titik air yang terkandung di dalam awan bertambah semakin banyak sampai pada keadaan dimana awan tidak mampu lagi untuk menampungnya, hingga terjatuh butiran-butiran air itu ke permukaan bumi.

B. Proses Terjadi Hujan

1. Panas Matahari

Matahari yang selalu menyinari bumi dengan begitu teriknya yang menimbulkan efek panas, sehingga panasnya matahari bisa menimbulkan air danau, sungai, laut dan genangan- genangan yang terisi air menguap ke udara. Selain dari danau, sungai, laut, air yang menguap ke udara juga disebabkan oleh tubuh manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, dan semua benda-benda yang

mengandung air. Selanjutnya akan diproses melalui tahapan evaporasi (penguapan).

2. Evaporasi (Penguapan)

Menurut Manan dan Suhardianto, evaporasi adalah perubahan air menjadi uap air. Air yang ada di bumi bila terjadi proses evaporasi akan hilang ke atmosfer menjadi uap air. Evaporasi dapat terjadi dari permukaan air bebas seperti bejana berisi air, kolam, waduk, sungai ataupun laut. Proses evaporasi ini hanya dapat terjadi pada benda yang mengandung air.

Proses evaporasi sangat dipengaruhi oleh faktor iklim di lingkungan perairan, seperti radiasi matahari, temperatur udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Pada proses ini Energi panas yang dimiliki oleh matahari membuat air yang berada di laut sungai, danau, dan sumber air di permukaan bumi lainnya mengalami proses evaporasi. Semakin tinggi panas matahari jumlah air yang menjadi uap air dan naik ke atmosfer bumi juga akan semakin besar. Pada umumnya radiasi matahari yang tinggi diikuti oleh temperatur udara yang tinggi pula sehingga kelembapan udara menjadi rendah, selain itu, angin yang tertiup dengan kecepatan tinggi membuat laju evaporasi semakin cepat.

Pada saat terjadinya evaporasi, tekanan udara pada lapisan udara tepat di atas permukaan air lebih rendah di bandingkan dengan tekanan pada permukaan air. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan terjadinya penguapan. Pada waktu penguapan terjadi, uap air bergabung dengan udara di atas permukaan air, sehingga udara mengandung uap air.

3. Transpirasi

Transpirasi adalah peristiwa perubahan air menjadi uap yang naik ke udara melalui jaringan hidup tumbuh-tumbuhan. Transpirasi yaitu terjadinya

pengeluaran berupa H₂O dan CO₂ pada siang hari saat panas, melalui stomata atau mulut daun dan lentisel atau celah batang. Dengan terlepasnya air dalam bentuk uap air stomata ke udara bebas (evaporasi) maka akan semakin cepat terjadi laju transpirasi.

4. Kondensasi

Kondensasi yaitu perubahan wujud zat dari gas (uap air) menjadi cair (pengembunan). Kondensasi merupakan salah satu proses terjadinya hujan, tanpa adanya kondensasi, awan tidak akan terbentuk. Proses kondensasi terjadi dimana uap air tersebut berubah menjadi partikel-partikel es berukuran sangat kecil. Perubahan wujud uap air menjadi es tersebut terjadi karena pengaruh suhu udara yang sangat rendah di titik ketinggian tersebut. Partikel-partikel es yang terbentuk akan saling mendekati dan bersatu satu sama lain sehingga membentuk awan. Semakin banyak partikel yang bergabung, awan yang terbentuk juga akan semakin tebal dan hitam. Pada tahapan ini, es atau tetes air memiliki ukuran jari-jari sekitar 5-20 mm. Dalam ukuran ini tetesan air akan jatuh dengan kecepatan 0,01-5 cm/detik, sedangkan kecepatan aliran udara ke atas jauh lebih tinggi sehingga tetes air tersebut tidak akan jatuh ke bumi.

5. Presipitasi

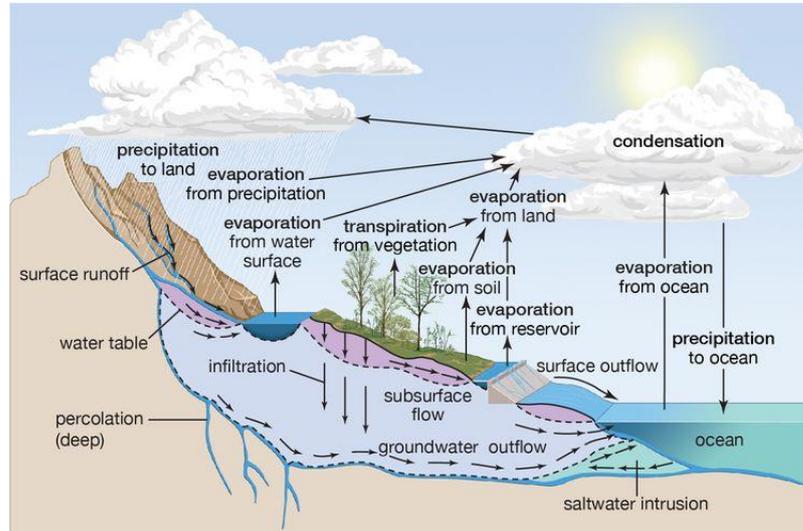
Presipitasi adalah hujan yang turun dari atas atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk titik-titik air atau salju. Presipitasi dipengaruhi oleh faktor kelembapan udara, sinar matahari, angin, dan temperatur udara. Proses dari presipitasi sendiri merupakan proses mencairnya awan akibat pengaruh suhu udara yang tinggi. Pada proses inilah hujan terjadi. Butiran-butiran air jatuh membasahi permukaan bumi. Awan-awan yang terbentuk kemudian tertiup oleh angin dan mengalami perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya. Awan-

awan yang terbawa angin ini akan semakin besar ukurannya karena terus menyatu dengan awan lainnya. Butir-butir es yang ada pada awan akan tertarik oleh gaya gravitasi bumi hingga akhirnya jatuh ke permukaan bumi. Ketika jatuh butiran-butiran es ini akan melalui lapisan udara yang lebih hangat di dalamnya sehingga merubah butiran es tersebut menjadi butiran air. Hangatnya lapisan udara membuat butiran air tersebut sebagian menguap kembali keatas dan sebagian lainnya terus turun ke permukaan bumi. Butiran air yang turun ke bumi inilah hujan.

Dari penjelasan diatas, secara ringkas proses terjadinya hujan sebagai berikut:

- a. Seluruh wilayah perairan pada permukaan bumi seperti sungai, danau dan laut menguap ke udara karena adanya panas matahari.
- b. Uap air tersebut akan terus naik ke atas kemudian akan menyatu dengan udara.
- c. Keberadaan suhu udara yang semakin tinggi akan membuat uap air melakukan kondensasi atau menjadi embun. Proses kondensasi akan menghasilkan titik-titik air berukuran kecil. Suhu yang bertambah tinggi akan menambah jumlah titik air, kemudian berkumpul dan membentuk awan.
- d. Semakin lama, awan tersebut akan berubah warna menjadi kelabu dan gelap karena airnya sudah berkumpul dalam jumlah yang sangat banyak.
- e. Awan tersebut semakin berat dan tidak mampu lagi ditopang oleh angin, akhirnya butiran-butiran air jatuh ke permukaan bumi.

Dan proses terjadinya hujan secara jelas dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 1 Siklus Hidrologi

(Sumber : Kompas.com)

C. Variabel Data yang mempengaruhi Peramalan Curah Hujan

Dalam melakukan peramalan curah hujan, kenyataannya ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhinya. Parameter penentu curah hujan tersebut merupakan variabel penting dalam proses peramalan. Variabel tersebut akan dijelaskan pada bagian berikut.

1. Arah Angin

Satuan yang digunakan untuk besaran arah angin disebut derajat ($^{\circ}$). 0 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. Menurut hukum *Buys Ballot*, udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi (maksimum) ke daerah bertekanan rendah (minimum).

2. Kecepatan angin

Kecepatan angin berhubungan dengan penguapan, jika semakin besar kecepatan angin maka laju penguapan juga semakin besar sehingga memperbesar curah hujan. Hal tersebut didukung oleh pernyataan *Raymond et.al.* (2003), yang menyatakan 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.

3. Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan unsur dan pengendali iklim yang sangat penting bagi kehidupan makhluk di bumi, karena perannya sebagai penentu dalam penyebaran curah hujan. Tekanan udara merupakan tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Perubahan tekanan udara akan menyebabkan perubahan kecepatan dan arah angin, perubahan ini akan membawa pula pada perubahan suhu dan curah hujan. Angin yang bergerak dari arah yang berlawanan mempunyai pengaruh yang besar terhadap iklim, karena perbedaan suhu yang disebabkan, adapun angin laut yang berasal dari lautan melewati lautan pada sebagian besar perjalanannya akan lebih banyak mendatangkan hujan, karena uap air yang dibawanya. Dengan demikian penyebaran curah hujan diseluruh permukaan bumi berhubungan sangat erat dengan sistem tekanan udara dan angin. Tekanan udara dipengaruhi oleh suhu, sedangkan garis yang menghubungkan tempat-tempat yang sama tekanan udaranya disebut sebagai isobar. Alat untuk mengukur tekanan udara adalah barometer.

Tekanan udara dibatasi oleh ruang dan waktu. Artinya pada tempat dan waktu yang berbeda, besarnya juga berbeda. Semakin tinggi suatu tempat, maka tekanan udaranya semakin menurun, sedangkan tekanan udara pada daerah yang mempunyai

rata-rata ketinggian sama, maka tekanan udara dipengaruhi oleh suhu udara. Daerah yang suhu udaranya tinggi akan bertekanan rendah dan daerah yang bersuhu udara rendah, tekanan udaranya tinggi. (Soewarno, 2000).

4. Kelembapan

Kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam udara atau atmosfer (Swarinoto & Sugiyono, 2011). Kandungan uap air dalam udara hangat lebih banyak dari pada kandungan uap air di dalam udara dingin. Jika kandungan uap air di udara mengalami pendinginan, maka akan terbentuk titik-titik air. Titik-titik air atau biasa disebut dengan uap air adalah suatu gas, yang tidak dapat dilihat, yang merupakan salah satu bagian dari atmosfer. Banyaknya uap air yang dikandung, tergantung pada suhu udara. Semakin tinggi suhu udara, makin banyak uap air yang terkandung (Hardjodinomo, 1975). Dengan demikian kelembaban udara memiliki hubungan yang sangat erat dengan tingkat curah hujan.

5. Suhu

Suhu udara adalah keadaan panas atau dinginnya udara atau juga bisa disebut dengan temperatur (Siswanti, 2011). Variasi suhu udara di kepulauan Indonesia tergantung pada ketinggian tempat. Suhu udara akan semakin rendah pada tempat yang semakin tinggi (Lakitan, 1994). Apabila suhu suatu tempat tinggi, maka kelembabannya rendah dan sebaliknya, apabila suhu rendah, maka kelembaban tinggi. Di mana hal ini antara suhu dan kelembaban juga berkaitan dan berpengaruh terhadap curah hujan.

6. Curah Hujan

Curah hujan merupakan sejumlah air yang jatuh pada permukaan tanah yang datar selama periode tertentu diukur dengan satuan tinggi milimeter

(mm) di atas permukaan horizontal (Manalu, 2016). Curah hujan juga dapat diartikan sebagai tingginya air hujan pada suatu tempat yang datar dengan asumsi tidak mengalir, tidak meresap serta tidak menguap (Mulyono, 2014). Satu milimeter (1 mm) curah hujan menunjukkan dalam wilayah dengan luas satu meterpersegi (1 m²) di tempat yang datar menampung air setinggi satu milimeter atau satu liter.

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki curah hujan yang bervariasi di setiap tempat. Hal ini dikarenakan daerah-daerah di Indonesia memiliki ketinggian yang berbeda. Bahkan di satu kota pun memiliki pola curah hujan yang berbeda karena pada umumnya hujan yang turun tidak selalu rata di suatu kota/tempat. Adapun klasifikasi curah hujan menurut standar *internasional World Meteorological Organization* (WMO) terdapat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi curah hujan menurut standar internasional WMO
(Susilowati, 2010)

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

D. Peramalan Curah Hujan

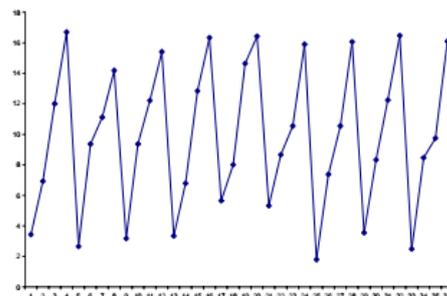
1. *Time Series*

Time series merupakan kumpulan dari beberapa data pada satu periode waktu tertentu (Aminudin & K, 2011). Runtun waktu (*time series*) adalah himpunan observasi berurut yang dikumpulkan menurut urutan waktu dalam suatu rentang waktu tertentu (Monica, et al., 2015). Jadi dapat disimpulkan bahwa *time series* adalah deret atau runtutan waktu yang pengumpulan datanya berdasarkan urutan waktu

tertentu.

Langkah penting dalam memilih metode *time series* yang tepat, sebagaimana yang dinyatakan oleh Makridakis (1999) adalah dengan cara mempertimbangkan jenis pola pada datanya. Pola pada tersebut dibedakan menjadi empat, yaitu:

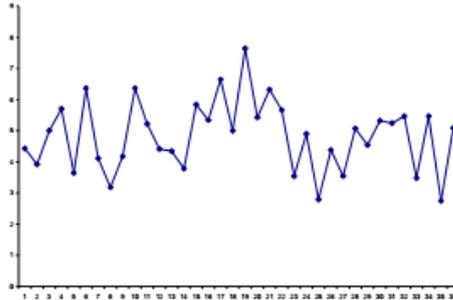
- a. Pola Data Musiman (*seasonal*) : terjadi pada saat suatu deret data dipengaruhi oleh faktor musiman (misalnya kuartal tahun tertentu, bulanan atau hari-hari pada minggu tertentu), yang ditandai dengan adanya pola perubahan yang berulang secara otomatis dari tahun ke tahun. Contoh: data pembelian buku baru pada tahun ajaran baru. Pola tersebut dapat lihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Pola Musiman (*seasonal*)

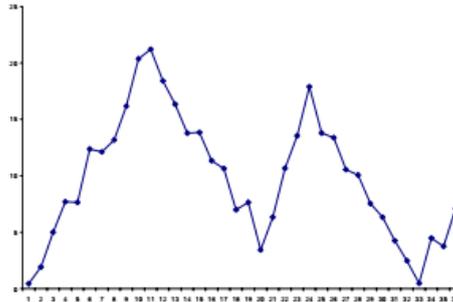
- b. Pola Data Horizontal: terjadi pada saat data observasi berubah-ubah di sekitar tingkatan atau rata-rata yang konstan dan membentuk garis

horizontal. Contoh: data penjualan suatu produk yang tidak meningkat ataupun tidak menurun selama waktu tertentu (konstan). Pola tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



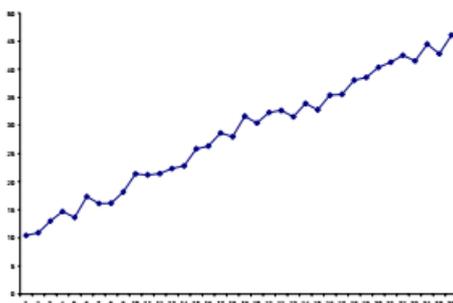
Gambar 2. 3 Pola Horizontal

- c. Pola Data Siklis (*cyclical*): terjadi pada saat deret data dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang, dan membentuk bergelombang pada sekitar garis. Contoh: data penjualan mobil. Pola tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2. 4 Pola Siklis (*cyclical*)

- d. Pola Data *Trend*: terjadi pada saat data observasi mengalami kecenderungan naik atau turun selama periode jangka panjang. Contoh: data populasi. Pola tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2. 5 Pola *Trend*

2. *Data Mining*

Data Mining sering juga disebut *Knowledge Discovery in Database* (KDD), adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, pemakaian data historis untuk menemukan keteraturan, pola atau hubungan dalam set data berukuran besar. Berikut ini pengertian menurut para ahli :

Menurut Turban et al dalam jurnal Kennedi Tampubolon, dkk (2013 : 96), menjelaskan bahwa :

“*Data mining* adalah proses yang menggunakan teknik statistik, matematika, kecerdasan buatan, dan *machine learning* untuk mengekstrasi dan mengidentifikasi informasi yang bermanfaat dan pengetahuan yang terkait dari berbagai *database* besar/*Data Warehouse*”.

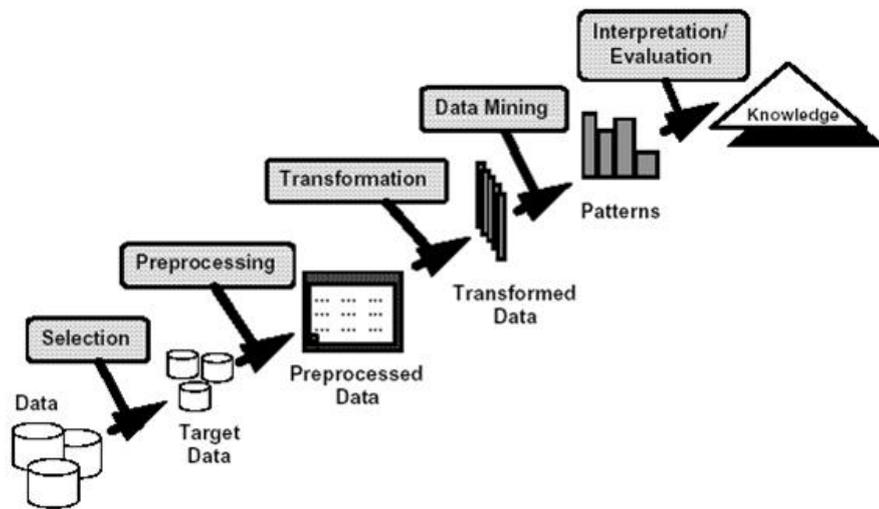
Menurut Alfa Saleh, (2015 : 208), menjelaskan bahwa :

“*Data Mining* merupakan proses ataupun kegiatan untuk mengumpulkan data yang berukuran besar kemudian mengekstraksi data tersebut menjadi informasi – informasi yang nantinya dapat digunakan”.

Menurut Fajar Astuti Hermawati, (2013 : 3), menjelaskan bahwa :

“*Data Mining* adalah proses yang mempekerjakan satu atau lebih teknik pembelajaran komputer (*machine learning*) untuk menganalisis dan mengekstraksi pengetahuan (*knowledge*) secara otomatis”.

Adapun beberapa tahapan yang dilewati dalam proses KDD, secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Proses KDD (Hermawati, 2015)

Dari proses KDD pada Gambar 2.6 di atas, dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Data Selection

Pemilihan (seleksi) data dari sekumpulan data operasional perlu dilakukan sebelum tahap penggalian informasi dalam *Knowledge Discovery in Database* (KDD) dimulai. Data hasil seleksi yang akan digunakan untuk proses data mining, disimpan dalam suatu berkas terpisah dari basis data operasional.

2. Pre-processing / Cleaning

Sebelum proses data mining dapat dilaksanakan, perlu dilakukan proses *cleaning* pada data yang menjadi fokus *Knowledge Discovery in Database* (KDD). Proses *cleaning* mencakup antara lain membuang duplikasi data, memeriksa data yang inkonsisten, dan memperbaiki kesalahan pada data, seperti kesalahan cetak. Juga dilakukan proses *enrichment*, yaitu proses “memperkaya” data yang sudah ada dengan data atau informasi lain yang

relevan dan diperlukan untuk *Knowledge Discovery in Database* (KDD), seperti data atau informasi eksternal lainnya yang diperlukan.

3. Transformation

Coding adalah proses transformasi pada data yang telah dipilih, sehingga data tersebut sesuai untuk proses data mining. Proses coding dalam *Knowledge Discovery in Database* (KDD) merupakan proses kreatif dan sangat tergantung pada jenis atau pola informasi yang akan dicari dalam basis data.

4. Data Mining

Data mining adalah proses mencari pola atau informasi menarik dalam data terpilih dengan menggunakan teknik atau metode tertentu. Teknik-teknik, metode-metode, atau algoritma dalam data mining sangat bervariasi. Pemilihan metode atau algoritma yang tepat sangat bergantung pada tujuan dan proses *Knowledge Discovery in Database* (KDD) secara keseluruhan.

5. Interpretation / Evaluation

Pola informasi yang dihasilkan dari proses data mining perlu ditampilkan dalam bentuk yang mudah dimengerti oleh pihak yang berkepentingan. Tahap ini merupakan bagian dari proses *Knowledge Discovery in Database* (KDD) yang disebut interpretation. Tahap ini mencakup pemeriksaan apakah pola atau informasi yang ditemukan bertentangan dengan fakta atau hipotesis yang ada sebelumnya.

3. Teori Dasar Miniatur Stasiun Cuaca

Pada dasarnya miniatur stasiun cuaca ini, mengadopsi sistem yang digunakan oleh stasiun cuaca otomatis (*automatic weather station*), namun tidak

secanggih dan sesempurna *AWS (Automatic Weather Station)*. Ada beberapa bagian pengukuran yang tidak termasuk didalam miniatur stasiun cuaca ini, diantaranya yaitu pengukuran penyinaran matahari dan pengukuran spesifik lainnya. Hal ini yang mendasari mengapa perancangan alat yang dibuat oleh penulis dinamakan miniatur stasiun cuaca. Pengukuran yang dapat dilakukan pada miniatur stasiun cuaca ini diantaranya adalah pengukuran arah angin, kecepatan angin, pengukuran tekanan udara, pengukuran suhu dan kelembaban udara, serta pengukuran curah hujan. Sebagian besar dari miniatur stasiun cuaca ini menggunakan sensor yang dirancang sedemikian rupa hingga berfungsi seperti *AWS (automatic weather station)*(Agustian, 2010).

Pada sistem yang lebih canggih, proses penyampaian datanya didownload melalui *device* yang berbeda seperti misalnya lewat telepon seluler atau melalui *homepage* tertentu. sehingga jika pada sewaktu-waktu data diperlukan dapat diambil atau digunakan sebagaimana kebutuhan si pengguna. Pada umumnya stasiun cuaca dilengkapi dengan beberapa sensor antara lain:

- a. Anemometer sebagai alat untuk mengukur kecepatan angin
- b. Barometer sebagai alat untuk mengukur tekanan udara
- c. Termometer sebagai alat untuk mengukur suhu
- d. Higrometer sebagai alat untuk mengukur kelembaban
- e. *Rain gauge* sebagai alat untuk mengukur curah hujan

Setelah data hasil pengukuran dari stasiun cuaca didapat maka proses dapat dilakukan secara lokal di stasiun cuaca tersebut sesuai kebutuhan atau data juga dapat dikumpulkan pada unit pusat data akuisisi, yang nantinya data yang dikumpulkan secara otomatis diteruskan ke pusat pengolahan data dan kemudian diolah sesuai kebutuhan. *Automatic Weather Station* dapat di desain secara

terintegrasi dengan beberapa AWS lain sehingga membentuk suatu sistem pengamatan yang dikenal dengan *Automated Weather Observing System* (AWOS), oleh karena pada umumnya digunakan untuk mengamati unsur cuaca di permukaan maka sering juga disebut sebagai *Automated Surface Observing System* (ASOS).

1. Tahap Perancangan Miniatur Stasiun Cuaca (*Hardware*)

Alat yang akan dirancang meliputi beberapa komponen, sebagai berikut:

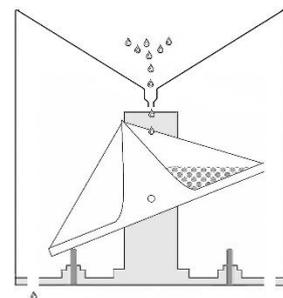
1. Sensor-sensor stasiun cuaca (*Rain Gauge, Anemometer, Wind Vane, AM2320, dan BMP280*)

a. Sensor *Rain Gauge*

Penakar hujan adalah sebuah alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur dan mendapatkan jumlah curah hujan pada satuan waktu tertentu. Terdapat 2 macam penakar hujan yaitu secara manual dan otomatis. Pada penakar hujan manual yang paling banyak digunakan adalah penakar hujan tipe observatorium (obs) atau sering disebut *ombrometer*. Alat pengukur hujan otomatis biasanya menggunakan prinsip kerja dari pelampung, timbangan, dan jungkitan (Permana, dkk., 2015). Adapun penakar hujan otomatis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sensor tipe *Tipping Bucket* yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



(a)



(b)

Gambar 2. 7 (a) *Rain Gauge* (b) Tampak dalam *Rain Gauge*

Tipping bucket rain gauge merupakan alat penakar hujan yang menggunakan prinsip menimbang berat air hujan yang tertampung menggunakan *bucket* atau ember kemudian disalurkan dengan sebuah skala ukur (pias) (Putra, 2017). Penggunaan penakar hujan bertipe *tipping bucket* banyak digunakan di banyak tempat karena penggunaannya yang sederhana. Penggunaan *tipping bucket* diperlukan kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil dengan presentase kesalahan yang kecil. Kalibrasi dilakukan sesuai dengan *datasheet* dari sensor *rain gauge tipping* tipe *bucket* ini.



Gambar 2. 8 Kalibrasi Sensor *Rain Gauge*

Pada Gambar 2.8 diatas dilakukan proses kalibrasi, pada proses tersebut sensor diberi perlakuan manual dengan cara metode tetes untuk menghitung nilai satu ketukan/tik *tipping bucket* atau jumlah air yang tertampung dalam *bucket*. Adapun hasil kalibrasi dari sensor curah hujan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 2 Hasil Kalibrasi *Rain Gauge*

Jumlah Tik	Data Sensor Curah Hujan
1 Tik	0.51 mm
2 Tik	1.02 mm
3 Tik	1.53 mm
4 Tik	2.04 mm
5 Tik	2.55 mm

Dari hasil kalibrasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 di atas prinsip kerja sensor yaitu air hujan jatuh dan tertampung pada bejana yang berjungkit, selanjutnya air mengisi bejana penampung yang setara dengan tinggi hujan 0,51 mm akan berjungkit dan air dikeluarkan. Terdapat dua buah bejana yang saling bergantian menampung air hujan. Tiap gerakan bejana berjungkit secara mekanis dan menggerakkan *counter* (penghitung). Jumlah hitungan dikalikan dengan 0,51 mm adalah tinggi hujan yang terjadi. Jika curah hujan di bawah 0,51 mm, maka yang tercatat dalam sensor yaitu 0.

b. *Sensor Anemometer*

Anemometer digunakan sebagai alat untuk mengukur dan menentukan kecepatan angin seperti pada Gambar 2.9 dan juga banyak digunakan pada stasiun pengukuran cuaca. Jenis anemometer yang biasa digunakan adalah anemometer mangkuk/*cup* dan baling-baling. Anemometer *cup* paling umum dan sering digunakan karena cara penggunaannya yang mudah dan sederhana. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. Pada saat tertiup angin, mangkuk yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai kecepatan angin. Makin

besar angin meniup mangkuk tersebut, makin cepat pula putaran mangkuk tersebut.



Gambar 2. 9 *Anemometer*

Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu anemometer yang bertipe *cup*/mangkuk yang memiliki 3 mangkuk yang dipasang pada jari-jari yang berpusat pada suatu sumbu vertikal atau semua mangkuk tersebut terpasang pada poros vertikal. Seluruh mangkuk menghadap ke satu arah melingkar sehingga bila angin bertiup maka mangkuk berputar pada arah tetap. Kecepatan putar dari mangkuk tersebut tergantung kepada kecepatan tiupan angin. Penggunaan *anemometer* diperlukan kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil dengan presentase kesalahan yang kecil.



Gambar 2. 10 *Kalibrasi Anemometer*

Pada proses kalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.10 diatas, dilakukan di kondisi atau ruang terbuka dengan menggunakan alat *KRISBOW KW06-562 Flexible Thermo Anemometer* sebagai kalibrator. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kinerja atau ketepatan nilai yang dihasilkan sensor pada proses pengukuran. Adapun hasil kalibrasi dari sensor anemometer tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2. 3 Hasil Kalibrasi *Anemometer*

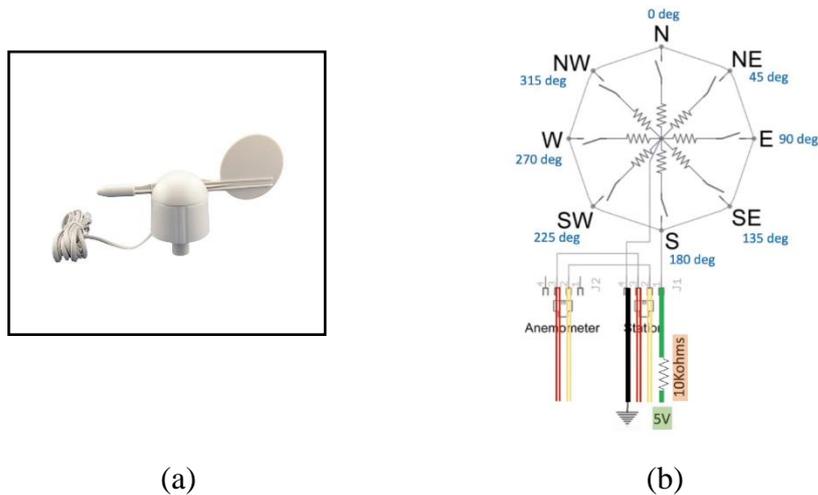
Nilai Sensor	Nilai Kalibrator
3.13 m/s	3.12 m/s
5.36 m/s	5.36 m/s
5.25 m/s	5.21 m/s
7.45 m/s	7.45 m/s

Cara kerja anemometer dari sudut pandang lain yaitu dengan memanfaatkan rotasi yang terjadi saat angin menggerakkan mangkuk pada perangkat ini. Penangkapan dalam mangkuk angin menyebabkan mangkuk berputar. Poros yang terhubung keperangkat yang memberikan kecepatan angin dihubungkan ke generator listrik, jumlah arus yang dihasilkan oleh generator bervariasi dengan kecepatan angin. Putaran tersebut diteruskan ke *counter* berupa pertambahan nilai pada angka-angka *counter*.

c. Sensor *Wind Vane*

Wind Vane digunakan untuk menentukan arah angin. Sensor arah angin ini berbentuk runcing di sisi depan dan berbentuk sirip di sisi belakang. Untuk menunjukkan arah angin, sisi belakang mempunyai daya tangkap angin yang lebih besar dari sisi depan. *Output* yang akan dikeluarkan pada perhitungan arah angin yaitu 0° (Utara), 45° (Timur

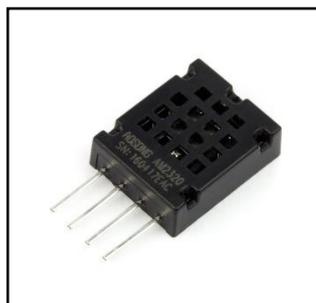
Laut), 90° (Timur), 135° (Tenggara), 180° (Selatan), 225° (Barat Daya), 270° (Barat), 315° (Barat Laut). Dengan demikian, maka dari manapun angin datang bertiup, bagian sisi depan senantiasa mengambil kedudukan menuju ke arah dari mana datangnya angin, dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 (a) *Wind Vane* (b) *Output Wind Vane*

d. Sensor AM2320

AM2320 digunakan sebagai salah satu sensor yang dapat mengukur dua parameter lingkungan sekaligus, yakni suhu (*temperature*) dan kelembaban udara (*humidity*). Sensor ini memiliki 4 kaki yaitu, VCC, SDA, GND, dan SCL yang dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 12 *AM2320*

Penggunaan AM2320 diperlukan kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil dengan presentase kesalahan yang kecil. Proses kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2. 13 Kalibrasi AM2320

Pada proses kalibrasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 diatas, dilakukan di kondisi atau ruang terbuka dengan menggunakan alat *KRISBOW KW06-561 Temperature & Humidity Meter & WBT-Dew Point* sebagai kalibrator. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kinerja atau ketepatan nilai yang dihasilkan sensor pada proses pengukuran. Adapun hasil kalibrasi dari sensor AM2320 tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini.

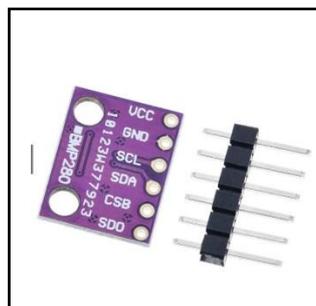
Tabel 2. 4 Hasil Kalibrasi AM2320

Nilai Sensor		Nilai Kalibrator	
Suhu	Kelembapan	Suhu	Kelembapan
27.78°C	77% RH	27.96°C	77.12% RH

35.56°C	53% RH	35.59°C	53.22% RH
35.56°C	54% RH	35.83°C	53.76% RH
35.56°C	53% RH	35.83°C	52.38% RH

e. Sensor BMP280

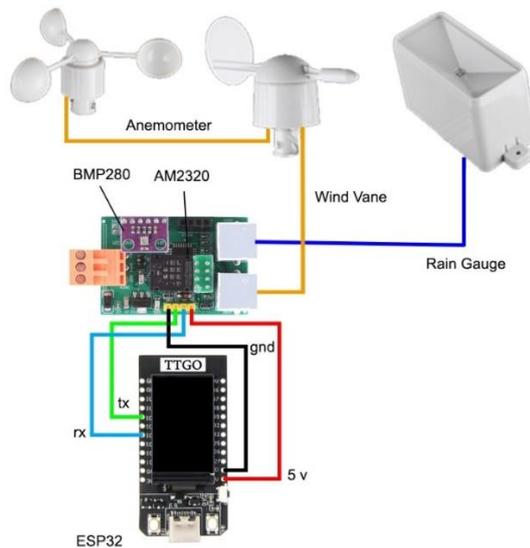
BMP280 digunakan sebagai alat untuk mengukur tekanan udara (barometer). Sensor ini memiliki 6 kaki yaitu VCC, GND, SCL, SDA, CSB, dan SDO yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2. 14 *BMP280*

2. Perancangan Mikrokontroler ESP32 dengan Sensor-sensor Stasiun Cuaca

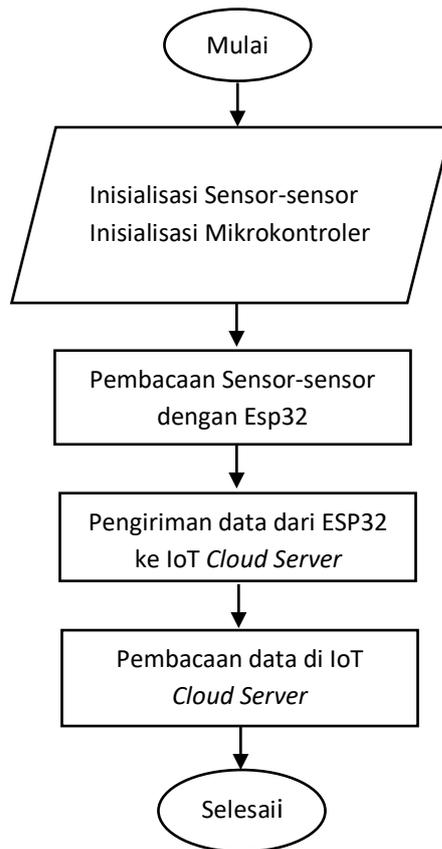
Proses perancangan ini, dilakukan dengan menggunakan beberapa kabel *jumper* untuk menghubungkan pin-pin sensor ke *board weather* kemudian *board weather* ke ESP32 (mikrokontroler). Cara menghubungkan pin-pin tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2. 15 Skematik Alat Stasiun Cuaca

2. Tahap Pembuatan *Software*

Tahap pembuatan software meliputi pembuatan program untuk menjalankan rancangan *hardware* yang telah dibuat. *Software* yang digunakan yaitu Arduino IDE. Program awal adalah menginisialisasi sensor-sensor yaitu sensor *Rain Gauge*, sensor *Anemometer*, sensor *Wind Vane*, sensor AM2320, dan sensor BMP280 sebagai *input* sistem. Proses selanjutnya adalah membaca data masuk dari sensor-sensor tersebut menggunakan mikrokontroler (ESP32). Dari data ini kita mendapatkan nilai variabel curah hujan, kecepatan angin, arah angin, suhu dan kelembapan udara, serta tekanan udara. Kemudian data yang telah didapatkan dari sensor-sensor yang terhubung ke ESP32 selanjutnya akan dikirim ke IoT *Cloud Server* yaitu *Thing Speak*. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2. 16 Flowchart Program Pembacaan Sensor Stasiun Cuaca

4. *Machine learning*

Machine Learning adalah metode yang digunakan untuk membuat program yang bisa belajar dari data. Berbeda dengan program komputer biasa yang statis, program *machine learning* adalah program yang dirancang untuk mampu belajar sendiri (W. Yuciana, 2014) .

Cara belajar program *machine learning* mengikuti cara belajar manusia, yakni belajar dari contoh-contoh. *Machine learning* akan mempelajari pola dari contoh-contoh yang dianalisa, untuk menentukan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan berikutnya. Memang tidak semua masalah bisa dipecahkan dengan program *machine learning*. Namun, seringkali algoritma yang sifatnya kompleks, ternyata bisa dipecahkan dengan sangat simpel oleh *machine learning*. Beberapa contoh program *machine learning* yang telah digunakan dalam kehidupan sehari-

hari: Pendeteksi Spam, Pendeteksi Wajah, Rekomendasi Produk, Asisten Virtual, Diagnosa Medis, Pendeteksi Penipuan Kartu Kredit, Pengenal Digit, Perdagangan Saham dan Segmentasi Pelanggan. Algoritma *machine learning* membuat model matematika berdasarkan *data sample* atau dikenal dengan *training dataset* untuk membuat prediksi atau peramalan dan untuk memastikan efisiensi model, digunakan *test dataset* (Bishop, 2006). Ada beberapa macam jenis algoritma pembelajaran dalam *machine learning*, yaitu:

1. *Supervised learning*

Supervised learning adalah pembelajaran yang dapat menerapkan informasi yang telah ada pada data dengan memberikan label tertentu, misalnya data yang telah diklasifikasikan sebelumnya (terarah). Permasalahan *Supervised Learning* dapat dikelompokkan menjadi masalah regresi (*regression problem*) dan masalah klasifikasi (*classification problems*).

2. *Unsupervised learning*

Unsupervised learning adalah pembelajaran yang digunakan pada data yang tidak mempunyai informasi yang dapat diterapkan secara langsung (tidak terarah). Algoritma ini diharapkan mampu menemukan struktur tersembunyi pada data yang tidak berlabel. Permasalahan *unsupervised learning* dapat dikelompokkan menjadi *clustering problems* dan *association problems*.

3. *Semi-supervised learning*

Semi-supervised learning adalah pembelajaran yang digunakan untuk melakukan pembelajaran data berlabel dan tanpa label. Sistem yang menggunakan metode ini dapat meningkatkan efisiensi *output* yang

dihasilkan. Permasalahan ini berada di antara *supervised learning* dan *unsupervised learning*.

4. *Reinforcement learning*

Reinforcement learning adalah pembelajaran yang mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan proses belajar yang dilakukan, algoritma ini akan memberikan poin (*reward*) saat model yang diberikan semakin baik atau mengurangi poin (*punishment*) saat model yang dihasilkan semakin buruk. Salah satu penerapannya adalah pada mesin pencari.

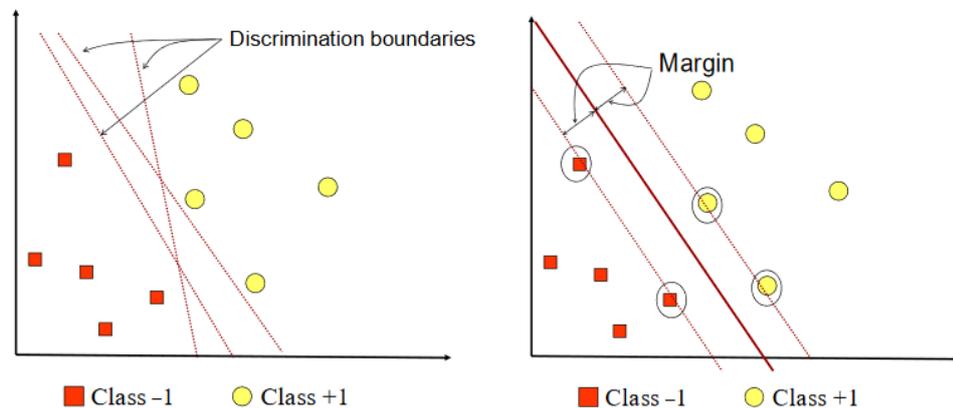
5. **Regresi**

Regresi adalah proses identifikasi relasi dan pengaruhnya pada nilai-nilai objek. Regresi bertujuan menemukan suatu fungsi yang memodelkan data dengan meminimalkan galat atau selisih antara nilai prediksi dengan nilai sebenarnya (Suyanto, 2018). Regresi umumnya digunakan untuk prediksi dan peramalan. Prediksi digunakan untuk memperkirakan nilai-nilai data bertipe apa saja dan kapan saja (masa lalu, sekarang, dan masa depan) (Suyanto, 2018). Pada penelitian ini, bertujuan untuk memprediksi curah hujan dengan menggunakan *dataset* meteorologi dari hasil perekaman stasiun cuaca.

6. *Support Vector Regression (SVR)*

Support Vector Regression (SVR) merupakan versi untuk memecahkan permasalahan regresi dari *Support Vector Machine (SVM)* yang diperkenalkan oleh Vapnik, Steven Golowich dan Alex Smola pada tahun 1997 (Vapnik *et al*, 1997). SVR ini sendiri merupakan penerapan algoritma SVM dalam kasus regresi (Maulana, Setiawan, & Dewi, 2019). Pada metode SVM adalah penerapan dari teori *machine learning* kasus klasifikasi yang menghasilkan nilai bulat atau diskrit, sedangkan pada metode SVR menghasilkan bilangan riil atau kontinu (Furi, Jondri,

& Saepudin, 2015). Konsep dari algoritma SVR dapat menghasilkan nilai peramalan yang bagus, karena SVR mempunyai kemampuan untuk menyelesaikan masalah *overfitting* (Furi, Jondri, & Saepudin, 2015). *Overfitting* adalah perilaku dari data pada saat fase pelatihan atau *training* menghasilkan akurasi yang hampir sempurna (Yasir, Prahutama, & Utami, 2014). Tujuan dari SVR adalah untuk menemukan sebuah fungsi sebagai suatu *hyperplane* (garis pemisah) berupa fungsi regresi yang mana sesuai dengan semua *input* data dengan sebuah *error* dan membuat setipis mungkin (Smola, 2002).

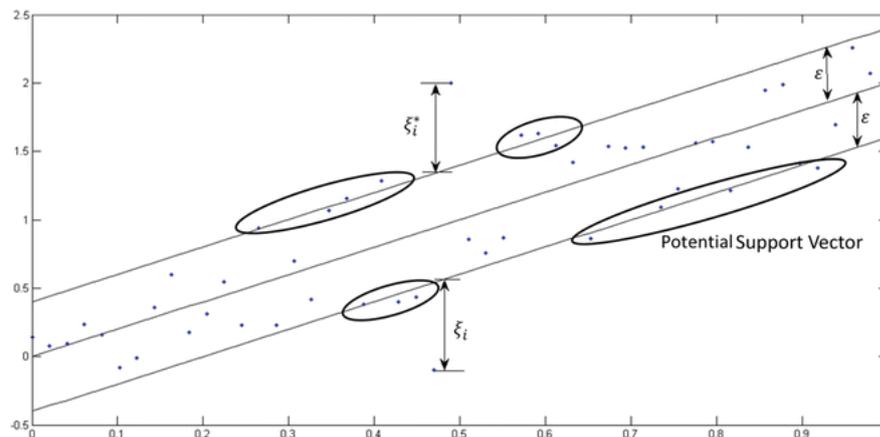


Gambar 2. 17 Ilustrasi SVM

Konsep dari metode SVM dapat dijelaskan dengan sederhana sebagai cara untuk mencari *hyperplane* terbaik. *Hyperplane* sendiri berfungsi sebagai pemisah dalam dua kelas data pada ruang input. Pada Gambar 2.17 menunjukkan bahwa terdapat beberapa data yang merupakan anggota dari dua buah kelas, untuk kelas-1 disimbolkan dengan persegi berwarna merah, sedangkan kelas+1 disimbolkan dengan lingkaran berwarna kuning, pada Gambar 2.17 juga menampilkan beberapa alternatif dari garis pemisah atau disebut *hyperplane*. *Hyperplane* terbaik dapat ditemukan dengan mengukur *margin* dari *hyperplane* tersebut dan mencari titik maksimal dari *margin*, *margin* merupakan jarak antara *hyperplane* dengan data

terdekat dari masing-masing data, data yang terdekat dari *margin* disebut dengan *support vector*.

Pada SVM dengan konsepnya yaitu membagi data menjadi dua kelas, sementara itu untuk konsep dari SVR yaitu bagaimana caranya supaya semua data masuk ke dalam satu zona, dengan tetap meminimalisasi nilai *epsilon* (ϵ).



Gambar 2. 18 Ilustrasi *Support Vector Regression*

Pada Gambar 2.18 merupakan ilustrasi dari *support vector regression*, gambar diatas menunjukkan sebuah *hyperplane* atau garis tengah yang diapit oleh dua garis batas (+) dan garis batas (-). Terlihat ada beberapa data poin yang dilingkari yang menjadi potensial *support vector* atau data poin yang dapat menjadi calon pembatas, sehingga semua data poin masuk ke dalam satu zona dengan tetap meminimalisasi nilai *epsilon* (ϵ).

Pada SVR yang mempunyai dimensi rendah, maka akan ditransformasikan ke dalam sebuah regresi linier dengan fitur berdimensi tinggi. Tujuan SVR adalah menemukan fungsi $f(x)$ dengan memetakan data ke dimensi yang lebih tinggi menggunakan fungsi kernel. Bentuk umum dari *support vector regression* dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1) berikut ini.

$$f(x) = w^T \varphi(x) + b \quad \dots (2.1)$$

Dengan:

$f(x)$ = fungsi regresi dari SVR

w^T = vektor bobot

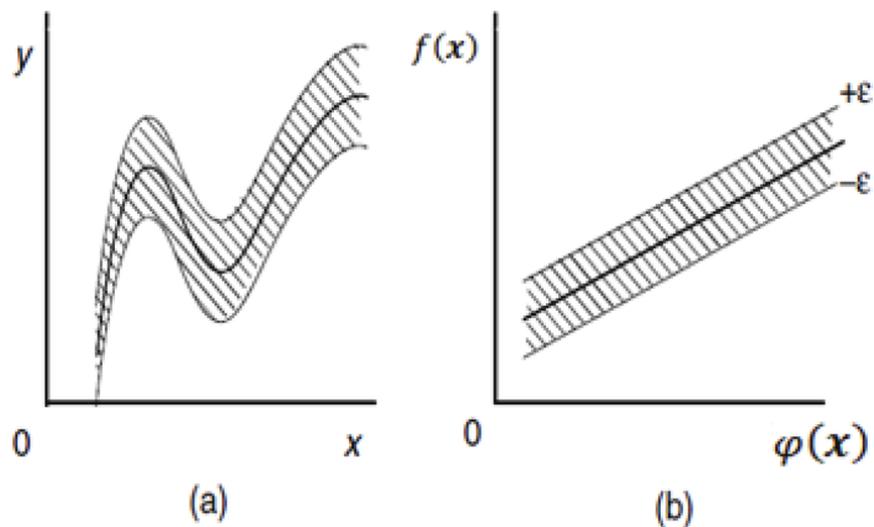
$\varphi(x)$ = fungsi yang memetakan x dalam dimensi yang lebih tinggi

b = bias

Dimana $\varphi(x)$ merupakan fungsi yang memetakan x dalam suatu dimensi yang lebih tinggi dan b merupakan bias yang berupa konstanta. w^T merupakan vektor pembobot. T merupakan *transpose* dari vektor pembobot.

Pada regresi terdapat residual, misalkan residual (r) didefinisikan dengan mengurangkan output scalar y terhadap estimasi $f(x)$, maka $r = y - f(x)$ dengan:

$$E(r) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } |r| \leq \varepsilon \\ |r| - \varepsilon, & \text{untuk yang lain} \end{cases} \quad \dots (2.2)$$



Gambar 2. 19 *Insensitive zone* (a) *original input space*, dan (b) *feature space*

Pada Gambar 2.19 merupakan ilustrasi *insensitive zone* dan *feature space* pada *support vector regression* dimana $D(x, y) = \pm \varepsilon$ adalah jarak terjauh *support vector* dari *hyperplane* atau disebut dengan margin. Memaksimalkan *hyperplane* akan

meningkatkan kemungkinan data masuk ke dalam radius $\pm \varepsilon$. Jarak dari *hyperplane* $D(x,y) = 0$ ke data (x, y) adalah $D(x, y)$ dibagi dengan $\|w^*\|$, dimana:

$$w^* = (1 - w^T)^T \quad \dots(2.3)$$

Keterangan:

w^* = vector pembobot baru

w^T = vector pembobot

Diasumsikan untuk jarak maksimum dari data terhadap *hyperplane* atau garis tengah yaitu δ , maka estimasi yang ideal akan terpenuhi dengan cara:

$$\frac{|D(x,y)|}{\|w^*\|} \leq \delta \quad \dots(2.4)$$

$$|D(x,y)| \leq \delta \|w^*\| \quad \dots(2.5)$$

$$\delta \|w^*\| = \varepsilon \quad \dots(2.6)$$

Keterangan:

$|D(x,y)|$ = margin

δ = jarak maksimum terhadap *hyperplane*

w^* = vector pembobot baru

Oleh sebab itu, untuk membuat margin (δ) menjadi maksimal, diperlukan $\|w^*\|$ yang minimum. Optimasi penyelesaian masalah dengan bentuk *Quadratic Programming*:

$$\min \frac{1}{2} \|w^*\|^2 \quad \dots(2.7)$$

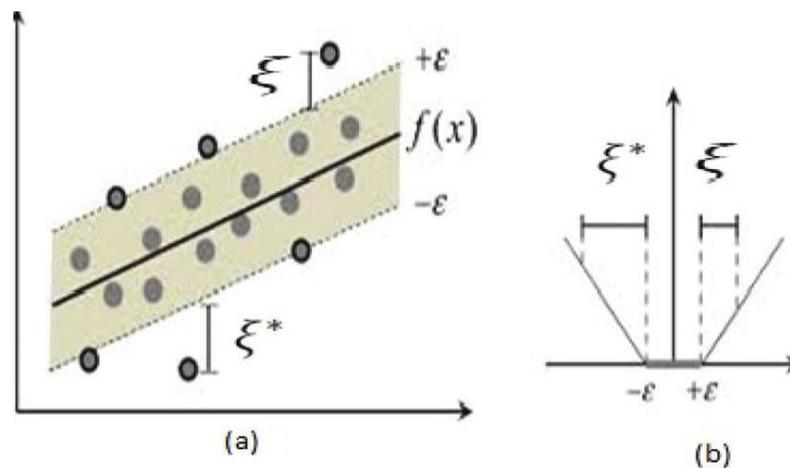
dengan syarat:

$$y_i - w^T \varphi(x_i) - b \leq \varepsilon \text{ untuk } i = 1, \dots, l \quad \dots(2.8)$$

$$w^T \varphi(x_i) - y_i + b \leq \varepsilon \text{ untuk } i = 1, \dots, l \quad \dots(2.9)$$

Faktor $\|w^*\|$ dinamakan *regulasi*. Meminimalkan $\|w^*\|$ akan membuat suatu fungsi setipis (*flat*) mungkin, sehingga bisa mengontrol kapasitas fungsi (*function capacity*).

Diasumsikan bahwa semua titik ada dalam rentang $f(x) \pm \varepsilon$ (*feseabel*), dalam ketidaklayakan (*infesibility*), dimana ada beberapa titik yang mungkin keluar dari rentang $f(x) \pm \varepsilon$, maka akan ditambahkan variabel *slack* ξ dan ξ^* untuk mengatasi masalah pembatasan yang tidak layak dalam problem optimasi (Santosa, 2007).



Gambar 2. 20 Ilustrasi SVR Output (a) dan ε -insensitive loss function (b)

Pada gambar 2.20 merupakan ilustrasi dari *Support Vector Regression* dan ε -insensitive loss function, dimana semua titik yang berada di luar margin akan dikenai penalti. Maka selanjutnya problem optimasi akan diformulasikan sebagai berikut:

$$\min \frac{1}{2} \|w^*\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad \dots(2.10)$$

dengan syarat:

$$y_i - w^T \varphi(x_i) - b - \xi_i \leq \varepsilon \text{ untuk } i = 1, \dots, l \quad \dots(2.11)$$

$$w^T \varphi(x_i) - y_i + b - \xi_i^* \leq \varepsilon \text{ untuk } i = 1, \dots, l \quad \dots(2.12)$$

$$\xi_i, \xi_i^* \geq 0 \dots \quad \dots(2.13)$$

Loss function adalah fungsi yang menunjukkan hubungan antara *error* dengan bagaimana *error* ini dikenai penalti, perbedaan *loss function* akan menghasilkan formula SVR yang berbeda.

Loss function yang paling sederhana adalah *-insensitive loss function* sebagai sebuah pendekatan *Huber's loss function* yang memungkinkan serangkaian *support vector* akan diperoleh. Formulasi *-insensitive loss function* adalah sebagai berikut :

$$L_{\varepsilon}(y) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } |f(x) - y| < \varepsilon \\ |f(x) - y| - \varepsilon, & \text{untuk yang lain} \end{cases} \quad \dots(2.14)$$

Dengan konstanta $C > 0$ menentukan tawar menawar (*trade off*) antara ketipisan fungsi $f(x)$ dan batas atas deviasi lebih besar dari ε masih ditoleransi. Semua deviasi lebih besar dari ε akan dikenai penalti sebesar. Solusi optimal dapat diselesaikan dengan fungsi *Lagrange* berikut:

$$\begin{aligned} Q(w, b, \xi, \xi^*, a, a^*, \eta, \eta^*) &= L \\ &= \frac{1}{2} \|w^*\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) - \sum_{i=1}^l a_i (\varepsilon + \xi_i - \\ &\quad y_i + w^T \varphi(x) + b) - \sum_{i=1}^l a_i^* (\varepsilon + \xi_i^* + y_i - \\ &\quad w^T \varphi(x) - b) - \sum_{i=1}^l (\eta_i \xi_i + \eta_i^* \xi_i^*) \quad \dots(2.15) \end{aligned}$$

Keterangan:

- L = Lagrangian
- η, η^*, a, a^* = Lagrange Multiplier
- w = pembobot
- b = bias
- ξ, ξ^* = slack

Untuk mendapatkan solusi yang optimal, maka dapat melakukan turunan parsial dari Q terhadap w, b, ξ, ξ^* . Dari persamaan (2.13) di atas, w dapat ditulis dengan persamaan (2.14) sebagai berikut:

$$w = \sum_{i=1}^l (a_i - a_i^*) \varphi(x_i) \quad \dots(2.16)$$

maka fungsi *optimal hyperplane* ditulis dengan persamaan (2.15) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f(x) &= w^T \varphi(x) + b \\ &= \sum_{i=1}^l (a_i - a_i^*) \varphi^T(x_i) \varphi(x) + b \\ &= \sum_{i=1}^l (a_i - a_i^*) K(x_i, x) + b \end{aligned} \quad \dots(2.17)$$

$K(x_i, x)$ merupakan dot-product kernel yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K(x_i, x) = \varphi^T(x_i) \varphi(x) \quad \dots(2.18)$$

misalkan $\beta = (a_i - a_i^*)$

$$\text{maka } f(x) = \sum_{i=1}^l \beta \varphi^T(x_i) \varphi(x) + b \quad \dots(2.19)$$

Optimasi permasalahan dual adalah:

$$\begin{aligned} Q(\alpha, \alpha^*) &= -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) \varphi^T(x_i) \varphi(x_j) \\ &\quad - \varepsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^l y_i (\alpha_i - \alpha_i^*) \end{aligned} \quad \dots(2.20)$$

Solusi optimal untuk b dengan menggunakan KKT (*karush Kuhn Tucker*):

$$b = y_i - w^T \varphi(x_i) - \varepsilon \text{ untuk } 0 < \alpha_i < C \quad \dots(2.21)$$

$$b = y_i - w^T \varphi(x_i) + \varepsilon \text{ untuk } 0 < \alpha_i^* < C \quad \dots(2.22)$$

7. Grid Search

Metode *grid search* merupakan salah satu metode yang sederhana untuk mengatasi masalah pengoptimuman. Metode ini melibatkan penyusunan *grid* yang cocok dalam suatu ruang dimensi, mengevaluasi fungsi objektif dari seluruh titik *grid*, dan menemukan titik *grid* yang sesuai dengan fungsi objektif yang memiliki nilai optimum (Agmalaro, 2011). *Grid search* akan mencoba setiap

parameter yang diberikan berdasarkan banyaknya *cross-validation* (CV) yang ditentukan pada data *training* dan memberikan parameter terbaik yang dilihat dari nilai *scoring* yang dihasilkan masing-masing kombinasi parameter. Oleh karena itu dilakukan percobaan untuk beberapa variasi parameter. Variasi parameter yang menghasilkan *error* terkecil yang didapatkan dari uji *cross validation* merupakan parameter yang optimal. Parameter optimal tersebut selanjutnya digunakan untuk model SVR dalam menemukan *hyperplane* terbaik. Setelah itu, model SVR tersebut digunakan untuk peramalan dengan melakukan pengujian terhadap data *testing* untuk melihat seberapa baik model dalam melakukan generalisasi.

Menurut Leidiyana, *cross-validation* adalah pengujian standar yang dilakukan untuk memprediksi *error rate*. Data *training* dibagi secara random ke dalam beberapa bagian dengan perbandingan yang sama kemudian *error rate* dihitung bagian demi bagian, selanjutnya dihitung rata-rata seluruh *error rate* untuk mendapatkan *error rate* secara keseluruhan. Dalam *cross-validation*, dikenal validasi *leave-one-out* (LOO). Dalam LOO, data dibagi kedalam 2 subset, subset 1 berisi N-1 data untuk *training* dan satu data sisanya untuk *testing*. Hal tersebut dapat dilihat dari ilustrasi pada Gambar 2. 21 di bawah ini.

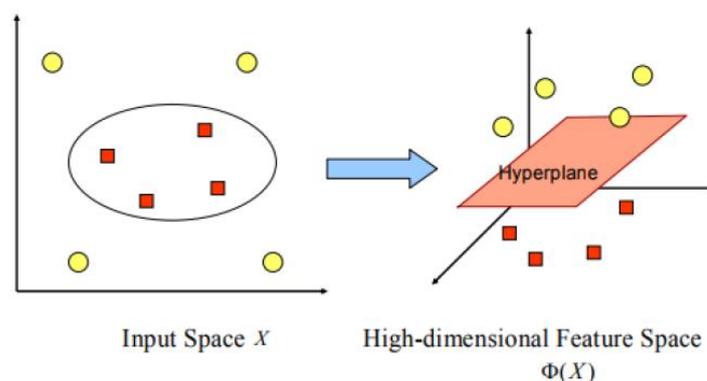


Gambar 2. 21 *Cross Validation*

Gambar 2. 21 merupakan hal yang dilakukan CV saat *grid search* berlangsung. Diilustrasikan pada Gambar 2.21 dengan $CV = 5$, data dibagi menjadi 5 bagian dengan 4 *training sets* dan 1 *testing set*. Perulangan dilakukan sebanyak 5 kali, pada perulangan pertama *subset* 1 menjadi data uji dan sisahnya menjadi data latih. Pada perulangan kedua *subset* 2 menjadi data uji dan sisahnya menjadi data latih. Perulangan dengan mengubah data latih dan data uji terus dilakukan sampai CV yang ditentukan. Hasil dari setiap variasi parameter akan dievaluasi dengan menghitung nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan akan diambil parameter dengan nilai *error* yang terkecil.

8. Kernel

Dalam dunia nyata permasalahan jarang yang bersifat linear dan kebanyakan bersifat non linear. Untuk menyelesaikan permasalahan non linear ini digunakan metode kernel (*Kernel Trick*) yaitu suatu data x di *input space* dipetakan ke *feature space* (ruang koordinat yang dimuati oleh fungsi) dengan dimensi yang lebih tinggi melalui ϕ (Sriyana, 2019).



Gambar 2. 22 Penggunaan Kernel

Ilustrasi dari konsep kernel pada gambar 2.22 diatas yaitu, gambar pada sisi kiri menunjukkan data dari dua kelas berbeda pada ruang input berdimensi dua yang tidak dapat dipisahkan secara linear. Sedangkan pada gambar sebelah kanan terlihat fungsi *feature space* mampu memetakan setiap data pada ruang input ke ruang fitur

berdimensi lebih tinggi, sehingga kedua kelas data tersebut bisa dipisahkan secara linear oleh *hyperplane*. Sederhananya, kernel mempermudah algoritma dalam melakukan tugasnya, yaitu membuat data menjadi linear dengan memetakan *input space* ke *feature space* dimensi yang lebih tinggi.

Fungsi kernel yang sering digunakan pada metode *Support Vector Regression* adalah sebagai berikut:

1. *Linear*

$$\varphi(x) = K(x, x') = x^T x \quad \dots(2.23)$$

2. *Polynomial*

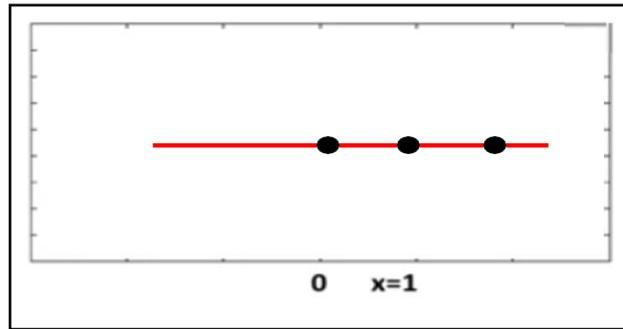
$$\varphi(x) = K(x, x') = (y(x^T x) + 1)^d \quad \dots(2.24)$$

3. *Radial Basis Function* (RBF)

$$\varphi(x) = K(x, x') = \exp(-y\|x - x_i\|^2) \quad \dots(2.25)$$

Nilai $K(x_i, x_j)$ merupakan fungsi kernel yang menunjukkan pemetaan linier pada *feature space*. Perlu dijelaskan bahwa nilai $K(x_i, x_j)$ tidak selalu bisa diekspresikan secara eksplisit sebagai kombinasi antara α , y dan $\varphi(x)$, karena dalam banyak kasus $\varphi(x)$ tidak diketahui dan sulit dihitung. Sedangkan x dan x' adalah pasangan dua data *training*. Parameter $d > 0$ merupakan konstanta. Fungsi kernel mana yang harus digunakan untuk substitusi *dot product* di *feature space* sangat tergantung pada data karena fungsi kernel ini akan menentukan fitur baru dimana fungsi pemisah akan dicari. Berikut akan diilustrasikan bagaimana setiap kernel memetakan masing-masing titik data.

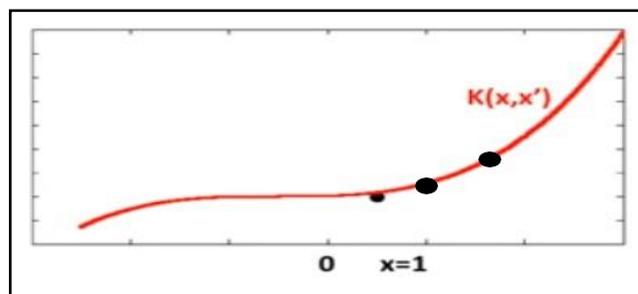
- Linear



Gambar 2. 23 *Linear Shape*

Pada Gambar 2. 23 diberikan ilustrasi dimana memiliki input data 1 dimensi pada sumbu x dengan nilai 1. Untuk titik berikutnya $x=2$ akan berada pada garis yang sama dan disamping titik sebelumnya, dan seterusnya.

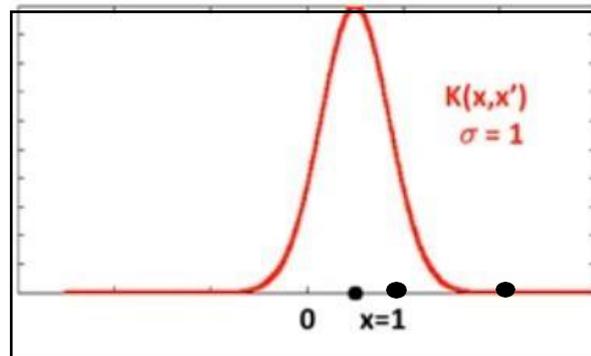
- Polynomial



Gambar 2. 24 *Polynomial Shape*

Pada gambar 2.24 diberikan ilustrasi dimana memiliki input data 1 dimensi pada sumbu x dengan nilai 1 dan parameter pada polynomial $d=2$. Dapat dilihat, semakin besar nilai x maka akan menghasilkan nilai positif yang besar dan dipetakan lebih tinggi dari titik sebelumnya.

- Radial Basic Function (RBF)



Gambar 2. 25 RBF Shape

Pada gambar 2.25 diberikan ilustrasi dimana memiliki input data 1 dimensi pada sumbu x dengan nilai 1 dan parameter pada polynomial $\sigma=1$. Dapat dilihat pada gambar nilai sigma menentukan lebar dari kurva, semakin besar sigma, maka kurva akan semakin lebar dan menurun tingginya. Pada gambar diilustrasikan ada 2 buah titik didalam kurva. Titik didalam kurva itu nilainya akan dipengaruhi oleh kurva yang terbentuk.

9. Mean Squared Error (MSE)

Sistem yang dibangun akan dinilai keakuratan peramalannya. Kaidah penilaian yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE) (Saluza, 2015). Pendekatan MSE digunakan untuk mengevaluasi metode peramalan karena MSE mengenal secara pasti signifikansi hubungan diantara data ramalan dengan data aktual dengan seberapa besar *error* yang terjadi.

Respon yang dihasilkan pada lapisan *output* akan dibandingkan dengan nilai target atau nilai MSE. Proses akan berhenti jika nilai MSE terpenuhi atau *epoch* terpenuhi. Nilai bobot yang optimum dengan nilai MSE terkecil akan disimpan untuk pembentukan struktur jaringan yang akan digunakan dalam proses peramalan (Yaniar, et al., 2013).

Tingkat keakuratan peramalan akan dinilai setengah jaringan dibangun.

Jaringan yang optimum dinilai dengan melihat nilai MSE yang terkecil. Jaringan dengan nilai MSE terkecil tersebut akan digunakan dalam proses peramalan. (Yaniar, et al., 2013). Ketepatan model akan diukur secara relative menggunakan MSE seperti persamaan (2.24) pada berikut ini:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon^2 \quad \dots(2.26)$$

dengan $\varepsilon = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n$

dimana:

ε = error

n = banyaknya prediksi

δ_n = faktor kesalahan

i = 1, 2, ..., n