

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Cuaca**

Cuaca merupakan suatu keadaan atmosfer yang terjadi di tempat tertentu pada waktu tertentu atau pada waktu yang cukup singkat. Cuaca dan iklim merupakan dua kondisi yang hampir sama, hanya berbeda dalam kurun waktunya. Iklim merupakan keadaan atmosfer dalam wilayah yang luas dan jangka waktu yang sangat Panjang yaitu kurang lebih 30 tahun (Riadi & Nurmahaludin, 2012), berbeda dengan cuaca yang ditunjukkan pada wilayah yang sempit dan kurun waktu yang cukup singkat. Rotasi bumi menyebabkan setiap tempat mengalami perubahan cuaca dengan siklus waktu 24 jam, sedangkan revolusi bumi menyebabkan perubahan cuaca dan iklim secara teratur dalam jangka satu tahun.

Cuaca dan iklim memiliki perbedaan definisi yang saling berhubungan. Iklim akan mempengaruhi cuaca di suatu tempat, sedangkan cuaca yang terjadi akan dipengaruhi iklim dari tempat tersebut. Pada dasarnya cuaca adalah keadaan udara pada saat tertentu dan diwilayah tertentu yang relatif sempit dan pada jangka waktu yang singkat. Cuaca itu terbentuk dari gabungan unsur cuaca dan jangka waktu cuaca bisa hanya beberapa jam saja.

Sedangkan iklim merupakan keadaan cuaca rata-rata dalam waktu satu tahun yang penyelidikannya dilakukan dalam waktu yang lama (minimal 30 tahun) dan meliputi wilayah yang luas. Iklim terbentuk karena adanya revolusi dan rotasi bumi sehingga terjadi pergeseran semu harian matahari dan tahunan, serta karena adanya perbedaan lintang geografi dan lingkungan fisis. Perbedaan ini menyebabkan timbulnya penyerapan panas matahari oleh bumi sehingga besar pengaruhnya terhadap kehidupan di bumi (Yonny Koesmaryono, 2011:13).

Keadaan cuaca adalah faktor utama keselamatan untuk dalam berbagai bidang kehidupan. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem teknologi yang bisa mengetahui keadaan cuaca nasional secara akurat. Teknologi satelit

penginderaan jauh adalah solusi untuk permasalahan tersebut. Satelit merupakan kebutuhan yang tidak bisa dihindari lagi pada saat sekarang ini.

Awan merupakan indikator utama dalam menentukan keadaan cuaca disuatu daerah dan masing-masing jenis awan mempunyai arti yang berbeda. Adanya awan cumulonimbus dengan bentangan awan yang cukup luas pada suatu daerah dapat diasumsikan sebagai indikasi keadaan cuaca buruk karena akan turun hujan lebat. Awan stratocumulus menandakan daerah tersebut cenderung hujan gerimis. Namun, sering kali awan ini merupakan tanda bahwa cuaca yang lebih buruk akan datang. Awan cirrus tidak membawa hujan, namun jika banyak terdapat awan cirrus di atmosfer merupakan tanda bahwa 24 jam kedepan akan terjadi perubahan cuaca.

## **B. Peramalan**

Peramalan berasal dari kata ramalan yang berarti suatu kondisi yang diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang. Sedangkan peramalan adalah bentuk kegiatannya. Peramalan (*forecasting*) merupakan penggunaan data untuk menguraikan kejadian yang akan datang dalam menentukan sasaran yang dikehendaki, sedangkan prediksi (*prediction*) adalah estimasi sasaran yang akan datang dengan tingkat kemungkinan terjadi besar dapat diterima (Anggriana, 2015)

Peramalan yang baik merupakan pramalan yang dilakukan mengikuti Langkah-langkah atau prosedur yang baik. Menurut (Anggriana, 2015) pada dasarnya ada tiga langkah peramalan yang penting, yaitu:

1. Menganalisa data masa lalu
2. Menentukan metode yang digunakan
3. Memproyeksikan data yang lalu dengan menggunakan metode dan mempertimbangkan adanya beberapa factor perubahan.

(Heizer & Render, 2015) menyatakan klasifikasi peramalan berdasarkan pendekatan umum, yaitu :

1. Peramalan Kualitatif, yaitu peramalan yang didasarkan atas data kualitatif pada masa lalu. Hal ini penting karena hasil peramalan tersebut ditentukan berdasarkan pemikiran yang bersifat intuisi, pendapat dan

pengetahuan dari orang yang menyusunnya. Biasanya peramalan secara kualitatif ini didasarkan atas hasil penyelidikan.

2. Peramalan Kuantitatif, yaitu peramalan yang didasarkan atas data kuantitatif pada masa lalu. Hasil peramalan yang dibuat sangat bergantung pada metode yang digunakan dalam peramala tersebut. Dengan metode yang berbeda akan diperoleh hasil peramalan yang berbeda. Baik tidaknya metode yang digunakan ditentukan oleh perbedaan atau penyimpangan antara hasil peramalan dengan kenyataan yang terjadi.

Berdasarkan penggambaran umum, peramalan yang akan saya lakukan adalah peramalan kuantitatif, karena data yang akan saya gunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif pada masa lalu.

Dilihat dari horizon waktu, peramalan diklasifikasikan kedalam tiga kategori yaitu :

1. Peramalan Jangka Pendek, peramalan ini memiliki rentang waktu sampai dengan satu tahun, tetapi kurang dari tiga bulan.
2. Peramalan Jangka Menengah, kisaran menengah atau *immediate*, peramalan umumnya mencakup rentang waktu dari tiga bulan hingga tiga tahun.
3. Peramalan Jangka Panjang, umumnya tiga tahun atau lebih dalam rentang waktunya.

Berdasarkan horizon waktu, peramalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peramalan jangka pendek. Karena, peramalan ini memiliki rentang waktu sampai dengan satu tahun, tetapi kurang dari tiga bulan atau lebih tepatnya prakiraan cuaca harian.

Prakiraan cuaca merupakan salah satu kajian yang sangat menarik untuk dilakukan apalagi dengan kecerdasan buatan yang berkembang begitu pesat di masyarakat global saat ini. Pentingnya data cuaca di berbagai bidang seperti pertanian, transportasi, industri makanan, sistem di bandara, hingga semua aktifitas manusia yang bergantung dengan cuaca ini membuat para

peneliti atmosfer tertantang untuk menemukan metode yang paling akurat dalam memprakirakan cuaca. Permasalahan yang dihadapi dalam prakiraan cuaca antara lain kondisi atmosfer berubah-ubah tidak stabil, terjadinya fenomena atmosfer, kesalahan pengukuran, data yang terlalu besar, dan pemahaman yang kurang mengenai prakiraan cuaca. Data mengenai cuaca tersedia secara open akses sehingga memudahkan untuk mencari metode terbaik dalam prakiraan cuaca. Metode dalam prakiraan cuaca sangat beragam tergantung pada ilmu pengetahuan dan teknologi lamapau dan kekinian, diantaranya adalah Teknik numerik (Jung & Matsueda, 2016)

Wilayah tropis dikenal sebagai wilayah dengan kondisi atmosfer yang relative homogen. Walaupun homogen, tetapi terdapat beberapa perbedaan dalam beberapa hal, misalnya daerah paling basah maupun daerah paling kering. Hal tersebut terjadi karena ada factor-faktor yang mempengaruhi cuaca, sehingga dalam melihat cuaca di Indonesia harus memperhatikan skala meteorologi yang terjadi (Zakir, Sulistya & Khotimah, 2009).

### **C. Skala Meteorologi**

Skala meteorologi yang mempengaruhi cuaca antara lain : skala global yaitu fenomena ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) dan DMI (*Dipole Mode Index*), Skala Regional yaitu SST (*Sea Surface Temperature*) dan fenomena MJO (*Madden Julian Oscillation*), serta skala local yaitu kelembapan udara (RH) dan Tekanan Udara.

#### **1. Skala Global**

Skala global / *planetary* adalah fenomena meteorologi yang terjadi pada periode 1 (satu) minggu dengan jarak 1000 kilometer (KM) hingga 40000 kilometer (KM). Skala global meliputi dua fenomena yaitu fenomena *el nino/ la nina* (ENSO) dan fenomen dipole mode. Pada penelitian ini akan menggunakan fenomena ENSO dengan indeks ONI dan fenomena *Dipole Mode* sebagai parameter input, dikarenakan kedua fenomena tersebut terjadi di lautan dan sangat berpengaruh terhadap perubahan cuaca di Indonesia yang dimana Indonesia sendiri merupakan negara kepulauan.

#### a. Fenomena ENSO

Enso merupakan singkata dari *El Nino Southern Oscillation*. Fenomena ENSO terdiri dari tiga fase yaitu El Nino, La Nina dan Netral. ENSO sendiri merupakan fenomena alam berupa fluktuasi suatu suhu muka laut disekitar bagian tengah dan timur ekuator Samudera Pasifik yang berinteraksi dengan perubahan kondisi atmosfer diatasnya. Fluktuasi suhu muka laut tersebut kemudian akan menghasilkan episode El Nino, La Nina dan fase Netral yang berevolusi secara bergantian.

Fluktuasi suhu muka laut pada Samudera Pasifik pada saat fase El Nino dan fase La Nina membentuk pola naik turun yang terlihat seperti sebuah osilasi. Fluktuasi suhu muka laut tersebut akan berkaitan dengan pada pola tekanan udara yang diamati pada Darwin dan Tahiti di mana kedua kota ini berada di Bumi Belahan Selatan (BBS). Maka para ahli menyebut fenomena yang berkaitan dengan dinamika suhu muka laut dan atmosfer serta fase el nino dan la nina dengan istilah *El Nino Southern Oscillation* yang disingkat ENSO.

Untuk mengetahui fenomena ENSO digunakan beberapa indeks, yaitu ONI (*Oceanic Nino Index*) dan SOI (*Southern Oscilation Index*). ONI didasarkan pada Suhu Permukaan laut (SPL) dari rata-rata di wilayah Nino 3.4, dan merupakan ukuran utama untuk memantau, menilai dan memprediksi ENSO. Sedangkan penentuan indeks SOI didasarkan pada perbedaan tekanan udara permukaan laut antara Tahiti dan Darwin (Zakir)

WMO menyebutkan fenomena ENSO dengan fase El Nino dan fase La Nina di dalamnya merupakan faktor terbesar yang mempengaruhi pola iklim pada berbagai belahan dunia. Namun Kemajuan ilmu pengetahuan dalam memahami dan memodelkan ENSO telah meningkatkan kemampuan prediksi guna mengantisipasi bencana yang ditimbulkan seperti kekeringan ataupun banjir.

### **i. ENSO – Fase Netral**

Pada fase netral disebut juga kondisi normal dari ENSO, di mana tidak terjadi El Nino maupun La Nina. Pada fase ENSO netral atau normal, suhu muka laut, pola hujan kawasan tropis dan sirkulasi atmosfer berada dalam kondisi rata-ratanya. Selama fase normal Enso, angin pasat berhembus secara konstan ke arah barat dari kawasan Pasifik timur sepanjang ekuator. Hembusan angin pasat yang dikenal juga sebagai sirkulasi Walker timuran ini menghasilkan juga arus laut yang mengarah ke barat. Desakan angin dan arus laut ini menyebabkan muka laut di sekitar Indonesia naik sekitar 50 cm lebih tinggi dibanding muka laut di wilayah Peru.

Fase Enso Netral merupakan fase normal iklim di kawasan ini karena periode terjadinya lebih dari setengah dari total periode terjadinya fase netral, fase El Nino dan fase La Nina. Pada fase netral, dinamika atmosfer akan dikendalikan oleh faktor iklim yang lain. Selama fase Enso Netral, suhu muka laut di barat Pasifik akan selalu lebih hangat dari bagian timur Pasifik. Umumnya suhu laut yang relatif lebih dingin di Pasifik Timur menyebabkan iklim yang lebih kering di kawasan tersebut.

### **ii. ENSO – Fase La Nina**

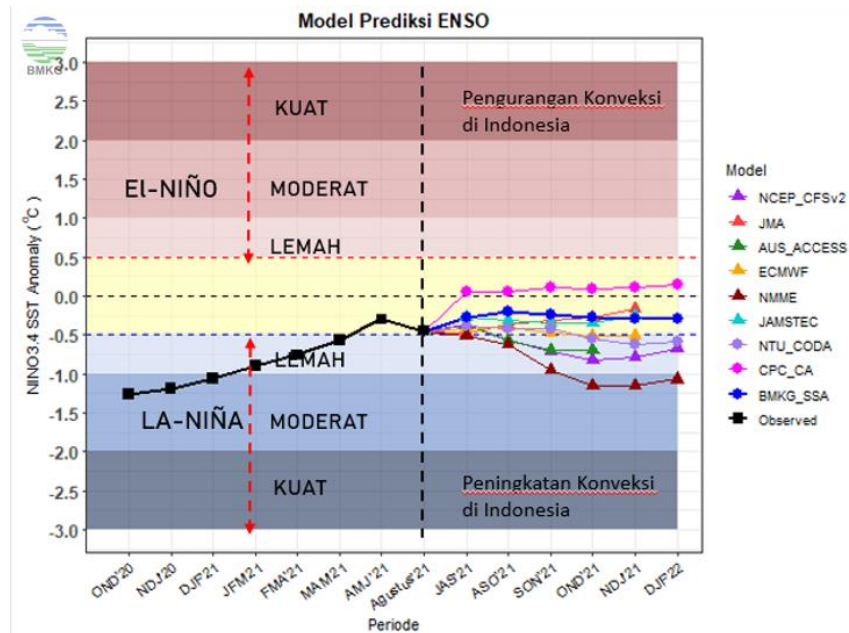
Fase La Nina disebut fase Enso dingin (*Cold Phase*). Ada juga yang menyebut La Nina sebagai fase Enso normal yang diperkuat. Hal ini karena pada fase La Nina hembusan angin pasat dari Pasifik timur ke arah barat sepanjang ekuator menjadi lebih kuat dari biasanya. Menguatnya angin pasat yang mendorong massa air laut ke arah barat, maka di Pasifik timur suhu muka laut menjadi lebih dingin. Hal ini karena kekosongan massa air laut yang berpindah ke barat, diisi oleh massa air laut yang lebih dingin dari bagian bawah lautan Pasifik timur. Dengannya maka episode La Nina disebut juga fase dingin dari Enso tersebut.

La Nina umumnya memberi dampak berupa peningkatan curah hujan di kawasan ekuator barat Pasifik termasuk Indonesia

dan potensi kekeringan di kawasan ekuator timur Pasifik. Peningkatan curah hujan di bagian barat Pasifik karena adanya peningkatan sistem konvektif. Peningkatan sistem konvektif karena desakan dari pasat timuran yang menggeser sistem konvektif yang biasanya ada di ekuator tengah Pasifik ke arah barat Pasifik hingga wilayah perairan Indonesia bagian tengah dan timur.

### iii. ENSO – Fase El Nino

Fase El Nino disebut juga sebagai fase Enso hangat. Fase El Nino ini merupakan anomali iklim dari kondisi normal. Angin pasat yang biasa berhembus dari timur ke barat melemah. Pelemahan ini dikaitkan dengan meluasnya suhu muka laut yang hangat di timur dan tengah Pasifik. Naiknya suhu muka laut di Pasifik Timur menyebabkan perubahan pada sirkulasi atmosfer. Hingga saat ini masih belum terjawab penyebabnya meningkatnya suhu muka laut di kawasan ekuator bagian timur Pasifik



Gambar 2.1 Index El Nino Southern Oscillation

Perubahan sirkulasi atmosfer pada fase El Nino dipicu menurunnya tekanan udara di timur Pasifik dan sebaliknya di barat Pasifik tekanan udara justru meningkat. Pusat konvektif bergeser ke Pasifik tengah karena Walker timuran melemah dan Walker barat menguat menuju wilayah konvektif. Karena perubahan sirkulasi

atmosfer oleh sebab itu fase El Nino disebut juga fase kebalikan dari kondisi Enso Netral dan juga La Nina.

Di Indonesia kemunculan El Nino dikaitkan dengan terjadinya kemarau panjang sebagaimana yang terjadi pada tahun 1997 dan 2015. Sebaliknya di wilayah Amerika Selatan terjadi peningkatan curah hujan.

#### **b. Fenomena Dipole Mode**

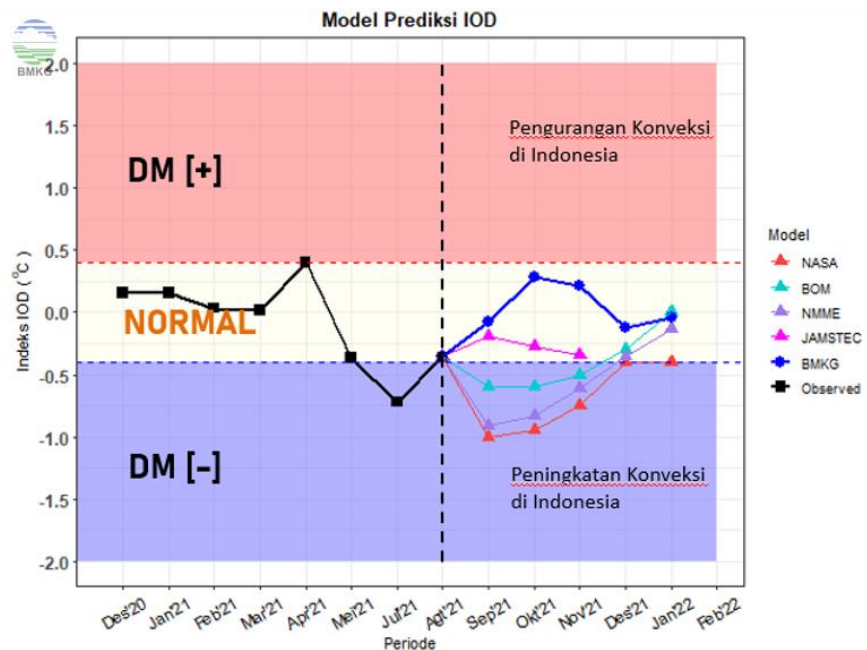
Dipole Mode adalah sebutan populer dari *Indian Ocean Dipole*. *Dipole mode* disingkat DM merupakan fenomena yang mirip dengan ENSO tetapi terjadi di Samudera Hindia. Peristiwa dipole mode ditandai adanya perbedaan anomali suhu permukaan laut (SPL) antara Samudera Hindia tropis bagian barat (50 oE – 70 oE, 10 oS – 10 oN) dengan Samudera Hindia tropis bagian timur (90 oE – 110 oE, 10 oS – ekuator). Anomali SPL ini memiliki kondisi yang lebih dingin dari normal dan muncul dipantai barat Sumatera (Samudera Hindia bagian timur), sementara di Samudera Hindia bagian barat terjadi pemanasan dari biasanya.

Para ahli meteorologi berpendapat bahwa fenomena dipole mode merupakan hasil atau model interaksi antara atmosfer dan laut. Dari model tersebut dijelaskan bahwa timbulnya Dipole Mode didahului oleh pasat tenggara di atas lautan India bagian selatan dan timur yang kuat dan bertiup terus-menerus dalam suatu kurun waktu. Tiupan yang terus-menerus tersebut menimbulkan tegangan (stress) muka air laut sehingga terjadi penumpukan massa laut dan panas di bagian barat. Bersamaan dengan anomali suhu muka laut di lautan India khatulistiwa yang demikian, daerah golakan yang biasanya terdapat di bagian timur yang panas bergeser ke barat . Sebaliknya ketika angin pasat lemah angin banyak bertiup dari arah barat atau baratdaya sehingga terjadi pengumpulan massa dan panas di bagian timur. Tetapi dari pandangan oseanografi penurunan suhu muka laut di bagian timur lautan India khatulistiwa karena timbulnya massa laut naik atau upwelling yang berawal di lautan sebelah selatan Nusa



Tenggara Barat kemudian menjalar ke barat sehingga suhu muka laut di bagian timur lautan India sekitar khatulistiwa lebih dingin dibandingkan di bagian barat; sebaliknya apabila terjadi mass laut turun atau downwelling massa laut panas di bagian barat bergeser ke timur sehingga di bagian barak lebih dingin dibandingkan di bagian timur.

Fenomena dipole mode tersebut merupakan fenomena hasil interaksi antara atmosfer dan laut. Oleh karena itu dipole mode berkaitan dengan sistem peredaran atmosfer. Karena peredaran atmosfer merupakan salah satu komponen dalam sistem cuaca maka dipole mode juga berkaitan dengan cuaca. Seperti yang sampai kini telah diketahui, di sepanjang khatulistiwa terdapat sistem peredaran yang dalam potongan arah vertikal berbentuk sel-sel. Sistem tersebut dikenal dengan sistem peredaran Walker sesuai dengan nama penemunya (Gilbert Walker 1924).



Gambar 2.2 *Indexi Dipole Mode Index*

Dapat kita lihat bahwa dipole mode berkaitan erat dengan peredaran Walker di atas kawasan khatulistiwa lautan India antara Afrika dan Indonesia yang juga dikenal dengan peredaran Walker barat. (note: yang di atas Pasifik dikenal juga dengan peredaran

Walker timur). Dalam kondisi rata-rata (normal) peredaran Walker barat mempunyai komponen angin barat di bagian bawah dan komponen angin timur di bagian atas, serta komponen vertikal ke atas di bagian timur dekat Indonesia dan komponen vertikal ke bawah di bagian barat dekat Afrika. Dalam daerah komponen vertikal ke atas udara cenderung bergerak ke atas dan cenderung menimbulkan awan-awan golongan dan menimbulkan banyak hujan.

Dalam waktu timbul dipole positif pusat panas terdapat di bagian barat dan menimbulkan banyak awan dan hujan di bagian timur Afrika serta kekeringan di Indonesia. Kekeringan tersebut terjadi karena angin pasat tenggara yang kuat dan bertiup melalui lautan yang dingin sehingga udara pasat yang bersifat mantap (*stable*) bertambah mantap dengan adanya pendinginan di bagian bawah. Bila terjadi pasat tenggara lemah terjadi dipole mode negatif yang ditandai dengan daerah panas terdapat di bagian timur. Suhu laut yang tinggi tersebut mendorong bertambah banyaknya penguapan air laut sehingga pembentukan awan golongan di bagian timur tersebut menjadi lebih banyak. Selanjutnya dapat menimbulkan fenomena lain berupa pusaran di dekat sebelah barat Sumatra. Lebih lanjut Toshio Yamagata, Ashok Karumuri, dan Guan Zhaoyong, menunjukkan bahwa Dipole Mode tersebut berkaitan pula dengan Monsun India dan ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) yang terdapat di Pasifik.

Dipole mode dibagi menjadi menjadi DM(+) dan DM (-). DM(+):anomali SPL Samudera Hindia tropis bagian barat lebih besar daripada di bagian timurnya akibatnya terjadi peningkatan curah hujan dari normalnya di pantai timur Afrika dan Samudera Hindia bagian barat sedangkan di Benua Maritim Indonesia (BMI) mengalami penurunan curah hujan dari normalnya yang menyebabkan kekeringan. DM(-):Fenomena yang berlawanan dengan kondisi DM(+) seperti yang dikemukakan Ashok et al., (2001a).

## 2. Skala Regional

Skala Regional atau Synoptik adalah fenomena meteorologi yang terjadi pada periode 1 (satu) hari sampai dengan 1 (satu) minggu dengan jarak 100 (seratus) kilometer (KM) hingga 5000 (lima ribu) kilometer (KM). Skala Regional meliputi beberapa fenomena diantaranya *Madden Julian Oscillation* (MJO), *Sea Surface Temperature* (SST), Monsun dan Gradien Angin Lapisan Atas. Berdasarkan buku Buletin Meteorologi BMKG, fenomena MJO dan SST merupakan fenomena meteorologi yang paling berpengaruh terhadap cuaca pada skala regional dibandingkan monsun dan gradien angin lapisan, sehingga pada penelitian ini akan menggunakan kedua fenomen tersebut sebagai parameter input.

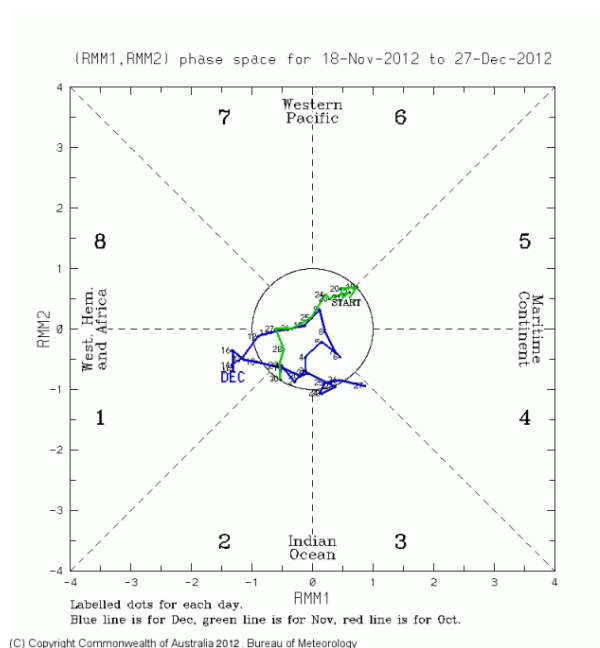
### a. Fenomena Madden Julian Oscillation

*Madden Julian Oscillation* merupakan elemen variabilitas intramusiman terbesar (30 hingga 90 hari) pada kondisi atmosfer tropis. MJO diketahui pada tahun 1971 oleh Roland Madden dan Paul Julian dari *American National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Osilasi ini merupakan gabungan sirkulasi atmosfer dengan skala besar antara sirkulasi atmosfer dan konveksi dalam pada iklim tropis. Berbeda halnya dengan *El Nino Southern Oscillation*, Madden Julian Oscillation merupakan pola perpindahan yang menyebar ke arah timur dengan kecepatan sekitar 4 hingga 8 m/s (14 hingga 29 km/jam, 9 hingga 18 mph), melalui atmosfer di atas bagian hangat dari samudra Hindia dan Pasifik. Pola sirkulasi keseluruhan ini mengejawantahkan dirinya dengan jelas sebagai curah hujan yang tidak normal.

Madden Julian Oscillation ditandai dengan perkembangan ke arah timur dari wilayah besar dari kedua curah hujan tropis yang ditingkatkan dan ditekan, yang khususnya diamati di atas Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Curah hujan yang tidak normal ini biasanya pertama kali terlihat di Samudra Hindia bagian barat, dan tetap berpengaruh nyata karena merambat di perairan Samudera Pasifik barat dan tengah yang sangat hangat. Pola curah hujan tropis ini kemudian menjadi tidak signifikan ketika bergerak di atas perairan samudera yang

lebih dingin di bagian Pasifik timur (kecuali di wilayah perairan yang lebih hangat di lepas pantai barat Amerika Tengah); tetapi kadang-kadang muncul kembali pada amplitudo rendah di atas Atlantik tropis dan amplitudo yang lebih tinggi di atas Samudera Hindia. Fase basah akibat peningkatan konveksi dan curah hujan diikuti oleh fase kering di mana aktivitas badai petir ditekan. Setiap siklus berlangsung sekitar 30–60 hari. Karena polanya seperti ini, *Madden Julian Oscillation* juga dikenal sebagai osilasi 30 - 60 hari, gelombang 30 - 60 hari, atau osilasi intramusiman.

Dampak yang teridentifikasi dari penjalaran MJO secara global terhadap kondisi cuaca pada periode Juni-Juli-Agustus adalah : (1) Perubahan periode basah dan kering; (2) Perubahan *Monsoon*; (3) Perubahan aktivitas siklon tropis. Dampak yang teridentifikasi dari penjalaran MJO secara global terhadap kondisi cuaca pada periode Desember-Januari-Februari adalah : (1) Perubahan periode basah dan kering; (2) Perluasan *plume* kelembapan tropis hingga ke lintang yang lebih tinggi dan mengakibatkan hujan lebat di *midlatitude*; (3) Perubahan *monsoon*; (4) Perubahan aktivitas siklon tropis; (5) Perubahan ENSO melalui Gelombang Kelvin di laut.



Gambar 2.3 *Index Madden Julian Oscillation*

Kemunculan MJO dicirikan dengan pertumbuhan kumpulan gugusan awan Cumulonimbus (Cb) di atas Samudera Hindia yang bergerak ke arah timur sepanjang ekuator mengelilingi bumi, dan memberi pengaruh pada variabilitas iklim dan cuaca di daerah tropis, sehingga MJO merupakan variasi iklim yang paling dominan terjadi di daerah tropis. Daerah yang dilalui MJO akan mengalami peningkatan suhu muka laut seiring dengan perjalanan arus laut ke timur yang nantinya akan berdampak padatingginya penguapan air laut. Terjadinya pergerakan uap air secara vertikal dan membentuk beberapa Cluster awan hujan. Awan ini mengandung air sangat banyak serta mempunyai periode ulang 30 sampai 60 hari yang berarti dalam kisaran waktu tersebut terjadi peningkatan hujan di Kawasan-kawasan yang dilaluinya.

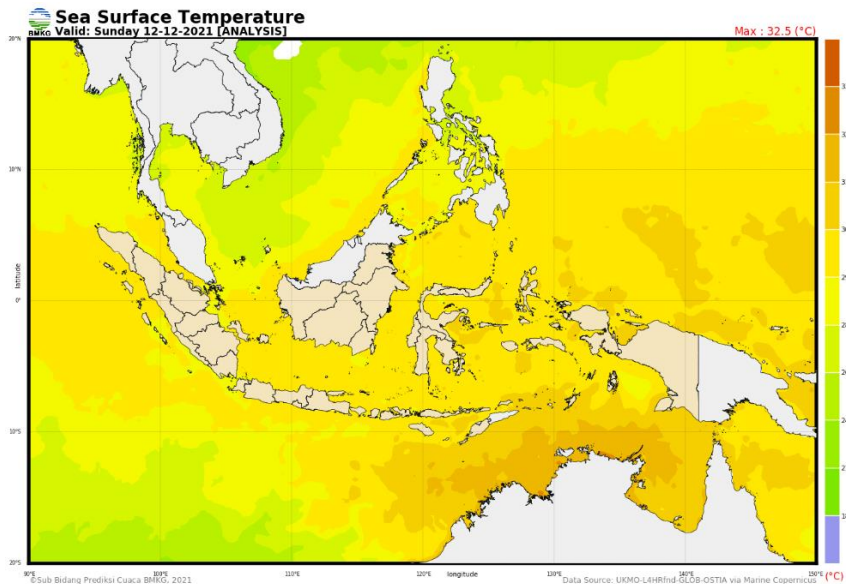
Salah satu cara untuk mendeteksi MJO adalah dengan menganalisa fasenya menggunakan Diagram Hovmoller, pada umumnya siklus MJO di bagi menjadi 8 fase yakni : (1) Fase 1 di Afrika; (2) Fase 2 di Samudera Hindia bagian barat; (3) Fase 3 di Samudera Hindia bagian timur; (4) Fase 4 di Benua Maritim Indonesia; (5) Fase 5 di Benua Maritim Indonesia; (6) Fase 6 di Kawasan Pasifik Barat; (7) Fase 7 di Pasifik Tengah; (8) Fase 8 di daerah belahan bumi bagian barat dan Afrika.

Pada fase 3,4,dan 5 mengindikasikan adanya potensi konvektif dalam skala besar di wilayah Indonesia, sehingga dapat berkontribusi cukup signifikan terhadap pembentukan awan dan hujan, terutama jika didukung dengan nilai intensitasnya yang cukup tinggi. Fase 3 dan 4 menunjukkan signifikansi fenomena MJO di wilayah Indonesia bagian barat dan tengah, sedangkan fase 5 menunjukkan signifikansi MJO di wilayah Indonesia bagian timur.

#### **b. Sea Surface Temperature**

Sea Surface Temperature disingkat SST adalah suhu perairan yang memiliki jarak dekat dengan permukaan lautan. Arti dari permukaan bisa berbeda, disesuaikan dengan metode pengukuran, tetapi ada di

antaranya 1 milimeter dan 20 meter di bawah permukaan laut. Massa udara di atmosfer bumi dimodifikasi oleh suhu permukaan laut dalam jarak terdekat dari pantai. Suhu permukaan laut yang hangat penyebab terjadinya siklogensis tropis di samudra bumi, dan topan tropis menyebabkan terjadinya udara dingin, karena adanya gejala pencampuran suhu 30 meter (100 ft) di atas permukaan laut. Variasi suhu permukaan laut akan lebih sedikit ketika arus angin lebih besar dibandingkan keadaan lebih tenang atau angin lebih sedikit. Selain itu, arus laut seperti *Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)*, dapat meengaruhi suhu permukaan laut pada skala waktu multi-dekade. Temperatur laut yang berkaitan dengan kandungan panas laut, topik yang sangat penting dalam studi pemanasan global.



Gambar 2.4 *Index Sea Surface Temperature*

Sea Surface Temperature merupakan salah satu parameter oseanografi yang penting. SST di perairan Indonesia berkisar antar 26° - 30°C, lapisan termoklin berkisar antara 9°C - 26°C dan lapisan dalam berkisar antara 2°C - 8°C (Soegiarto, 1976). Sebaran SST dapat digunakan sebagai salah satu indikator penting terjadinya *upwelling* yaitu kenaikan massa air laut dari suatu lapisan dalam ke lapisan permukaan sehingga suhu permukaan laut diperairan tersebut lebih dingin dibandingkan sekitarnya. Tingginya nilai SST di perairan Indonesia disebabkan oleh posisi geografi Indonesia yang terletak di

wilayah ekuator yang merupakan daerah penerima panas matahari terbanyak.

Kondisi permukaan laut di daerah tropis umumnya hangat dengan variasi suhu tahunan rendah. Kondisi ini akan berpengaruh terhadap aktivitas konveksi yang tinggi. Sedangkan laut merupakan sumber uap air utama untuk segala proses yang ada di atmosfer. Daerah tropis menjadi penting pada sistem iklim global karena pemanasan yang kuat dan terungkapnya fluktuasi iklim jangka waktu tahunan maupun interdecadal yang mempengaruhi iklim global serta berdampak sosioekonomi pada daerah tersebut atau wilayah yang lebih luas. Salah satu akibat adanya perubahan SST di daerah tropis yang telah diteliti yaitu berubahnya curah hujan.

Rata-rata suhu laut berada pada  $26.5^{\circ}\text{C}$  ( $79.7^{\circ}\text{F}$ ) mencakup angka minimal di kedalaman 50 - meter merupakan satu prekursor yang dibutuhkan untuk mempertahankan siklon tropis. Tingkat kehangatan pada air ini diperlukan untuk mempertahankan inti hangat sebagai bahan bakar pada sistem tropis. Nilai ini jauh di atas  $16.1^{\circ}\text{C}$  ( $60.9^{\circ}\text{F}$ ), suhu rata-rata permukaan lautan global dalam jangka Panjang.

### **3. Skala Lokal**

Skala Lokal adalah fenomena meteorologi yang terjadi pada 1 (satu) menit sampai dengan 1 (satu) jam dengan jarak 1 (satu) kilometer (KM) hingga 100 (serratus) kilometer (KM). Skala lokal meliputi beberapa fenomena diantaranya labilitas udara, kondisi suhu, kelembaban, tekanan, arah angin dan jarak pandang.

Pada skala lokal fenomena yang paling berpengaruh adalah labilitas udara dan suhu tetapi pada penelitian ini tidak menggunakan kedua fenomena tersebut sebagai parameter input dikarenakan untuk labilitas udara aplikasi yang digunakan untuk mengolah data yang didapat dari radio sonde mengalami gangguan sehingga output data yang dihasilkan kurang akurat. Untuk suhu sendiri pada penelitian ini sudah menggunakan suhu permukaan laut (SST) yang dimana SST ini lebih berpengaruh terhadap cuaca dibandingkan suhu udara dilihat dari negara Indonesia yang sebagian

besar merupakan lautan sehingga fenomena yang terjadi di lautan memiliki pengaruh yang besar terhadap cuaca di Indonesia.

**a. Tekanan Udara (P)**

Tekanan Udara ialah tekanan yang diberikan udara setiap satu satuan luas dalam bidang datar permukaan bumi sampai batas atmosfer. Tekanan udara dibatasi oleh ruang dan waktu, dalam waktu dan tempat yang berbeda maka tekanannya berbeda pula.

Tekanan udara (atmosfer) merupakan salah satu parameter yang diamati oleh observer (pengamat cuaca) ketika melakukan pengamatan udara permukaan atau *synoptic observation* dan juga merupakan salah satu unsur cuaca terpenting yang dibutuhkan dalam memprediksi cuaca.

Tekanan sebenarnya di sebuah tempat dan pada satu waktu akan berbeda tergantung pada ketinggian, suhu dan kerapatan udara (air density) Perubahan tekanan udara (atmosfer) akan mempengaruhi pergerakan dalam atmosfer yaitu pergerakan vertikal dari arus naik dan turun serta pergerakan horizontal dalam bentuk angin. Kedua tipe pergerakan ini sangat penting karena keduanya mempengaruhi perubahan cuaca. Dengan mengamati gejala tekanan pada cakupan daerah yang luas, prakirawan cuaca akan bisa lebih akurat memprakirakan pergerakan sistem tekanan dan cuaca yang berhubungan dengannya.

Contohnya, jika ada sebuah pola tekanan yang meningkat di sebuah stasiun pengamatan cuaca biasanya menunjukkan bahwa cuaca yang baik akan terjadi sesaat kemudian. Sebaliknya, penurunan tekanan atau jatuhnya tekanan secara cepat biasanya menunjukkan bahwa cuaca buruk dan kemungkinan ada hujan atau badai akan terjadi. Tekanan yang diberikan sebanding dengan massa udara vertikal yang terdapat di atas permukaan tersebut sampai pada batas ketinggian lapisan atmosfer terluar. Hal ini yang membuat tekanan udara (atmosfer) di setiap tempat berbeda menurut ketinggiannya dari tempat tersebut. Meningkatnya ketinggian menyebabkan berkurangnya jumlah molekul udara. Oleh



karena itu, tekanan udara (atmosfer) menurun seiring meningkatnya ketinggian.

b. **Kelembaban Udara (RH)**

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di dalam udara. Jumlah uap air yang ada dalam udara ini sebenarnya hanya sebagian kecil dari seluruh atmosfer. Kira-kira sekitar 2 persen dari jumlah massa. Akan tetapi, uap air tersebut merupakan salah satu komponen udara yang sangat penting, ditinjau dari segi cuaca dan iklim. Uap air dalam atmosfer bisa berubah bentuk menjadi cair atau padat, yang pada akhirnya bisa jatuh ke bumi atau kita kenal sebagai hujan. Kelembaban udara yang cukup besar pada suatu wilayah, memberikan petunjuk bahwa udara di wilayah tersebut banyak mengandung uap air atau udara dalam keadaan basah.

Kelembaban udara cenderung lebih tinggi ketika siang hari. Hal tersebut terjadi karena ada penambahan uap air hasil evapotranspirasi dari permukaan. Evapotranspirasi terjadi karena tanah menyerap radiasi sinar matahari selama siang hari. Sedangkan ketika malam hari, akan berlangsung proses kondensasi atau pengembunan dengan memanfaatkan uap air yang berasal dari udara. Oleh karena itu, kandungan uap air di udara dekat permukaan tersebut akan berkurang.

Dalam buku *Klimatologi Pertanian* (2019) karya Gunardi Djoko Winarno, Sugeng P. Harianto, dan Trio Santoso, dijelaskan bahwa ada tiga jenis kelembaban udara, yaitu:

- i. Kelembaban relatif Kelembaban relatif menunjukkan perbandingan jumlah uap air di udara dengan jumlah uap air maksimum yang bisa dikandung oleh udara pada suhu yang sama. Kelembaban relatif dinyatakan dalam satuan presentase. Jumlah kelembaban relatif paling besar adalah 100 persen.
- ii. Kelembaban absolut (mutlak) Kelembaban absolut merupakan massa uap air yang berada dalam satu satuan udara. Kelembaban ini dinyatakan dalam satuan gram per meter kubik. Kelembaban

absolut dipengaruhi oleh suhu udara di sekitarnya karena berkaitan dengan kekuatan udara dalam menampung uap air.

- iii. Kelembaban spesifik Kelembaban spesifik adalah perbandingan massa uap air di udara dengan satuan massa di udara. Kelembaban ini dinyatakan dalam satuan gram atau kilogram.

## **D. Logika Fuzzy**

### **1. Pengertian**

Logika *fuzzy* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan logika benar salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika *fuzzy* yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika *fuzzy* terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika *fuzzy*, keanggotaan elemen berada di interval  $[0,1]$ .

### **2. Himpunan Tegas**

Himpunan tegas adalah suatu kumpulan dari obyek-obyek yang didefinisikan secara jelas. Artinya obyek-obyek tersebut dapat ditentukan dengan jelas keberadaannya. Obyek yang ada dalam himpunan itu disebut elemen atau anggota himpunan. Pada umumnya, himpunan disimbolkan dengan alfabet kecil. Notasi " $a \in A$ " dibaca  $a$  anggota himpunan  $A$  dan notasi " $a \notin A$ "  $a$  bukan anggota himpunan  $A$  (Susilo, 2006). Suatu elemen himpunan tegas  $A$  (misal  $a$ ) hanya mempunyai dua kemungkinan, yaitu termasuk dan tidak termasuk pada himpunan  $A$ . Dua kemungkinan tersebut direpresentasikan pada bilangan biner 0 dan 1. Jika  $a \in A$  maka elemen tersebut bernilai 1. Jika  $a \notin A$  maka elemen tersebut bernilai 0. Nilai atau derajat keanggotaan suatu himpunan tegas dinotasikan dengan  $\mu(x)$ . Jika  $x$  termasuk dalam

himpunan  $A$  maka  $\mu(x) = 1$ , dan jika sebaliknya maka  $\mu(x) = 0$  (Kusumadewi, 2002).

### 3. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan perkembangan dari himpunan tegas. Himpunan tegas adalah himpunan yang nilai keanggotaan dari elemennya hanya mempunyai dua kemungkinan derajat keanggotaan yaitu :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 ; & \text{jika } x \in A \\ 0 ; & \text{jika } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

dengan  $\mu_A$  adalah fungsi karakteristik dari himpunan  $A$ . Sedangkan pada himpunan *fuzzy* derajat keanggotaan untuk setiap elemennya terletak dalam interval  $[0,1]$ .

### 4. Fungsi Keanggotaan

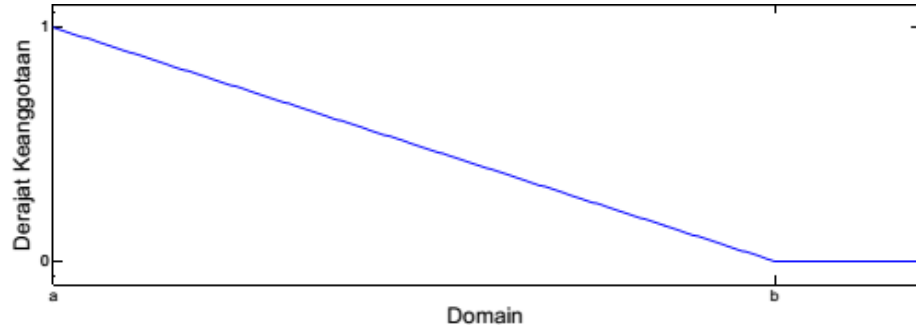
Fungsi keanggotaan merupakan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Kusumadewi, 2004). Fungsi keanggotaan inilah yang membedakan himpunan *fuzzy* dengan himpunan tegas. Fungsi keanggotaan dapat direpresentasikan dengan berbagai cara, namun yang paling umum dan banyak dipakai dalam sistem yang dibuat berdasarkan logika *fuzzy* adalah representasi secara analitik.

Pemodelan yang tepat dibutuhkan karena model *fuzzy* sensitif terhadap jenis pendeskripsian himpunan *fuzzy*. Terdapat berbagai jenis pendeskripsian himpunan *fuzzy*, namun fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian penulis yaitu representasi linier, segitiga, trapesium, gauss, bentuk lonceng dan signoid (Setiadji, 2009)

#### a. Representatif Linear

Representasi paling sederhana dalam fungsi keanggotaan yaitu representasi linier yang digambarkan sebagai suatu garis lurus. Keadaan himpunan *fuzzy* linier ada dua. Pertama, himpunan

mengalami penurunan dari derajat keanggotaan satu bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih rendah menuju nol.



Representasi kurva linier turun dapat dilihat pada gambar 2.5.

Gambar 2.5 *Representatif Kurva linier turun*

Fungsi keanggotaan kurva linier turun:

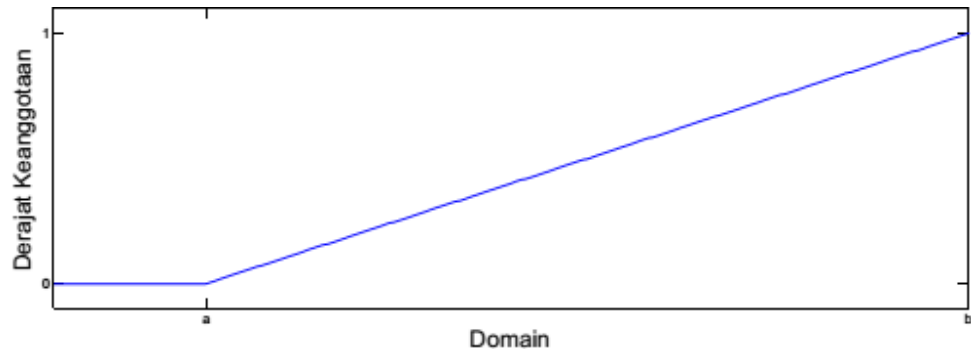
$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$a$  = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

$b$  = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

Kedua, himpunan mengalami kenaikan dari derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih tinggi menuju satu. Representasi kurva linier naik dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Representatif Kurva linier naik*

Fungsi keanggotaan kurva linier naik:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (2.3)$$

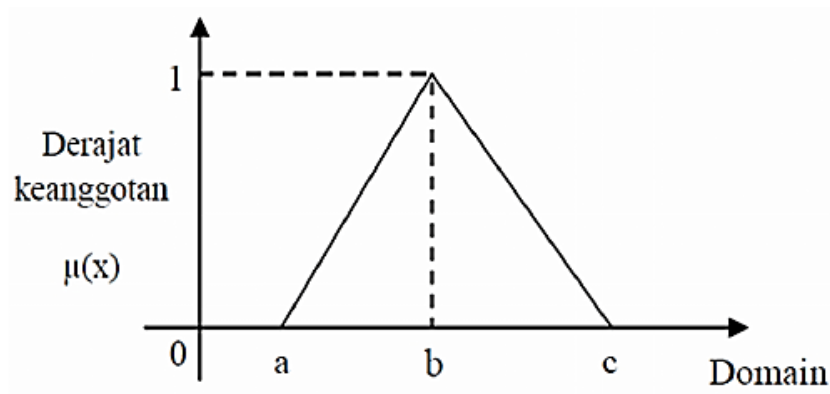
Keterangan :

$a$  = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

$b$  = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

### b. Representatif Segitiga

Representasi kurva segitiga mempunyai tiga buah parameter, yaitu  $a, b, c \in \mathbb{R}$  dengan  $a < b < c$ . Representasi kurva segitiga dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Representasi Kuva Segitiga

Fungsi keanggotaan kurva segitiga :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \end{cases} \quad (2.4)$$

Keterangan :

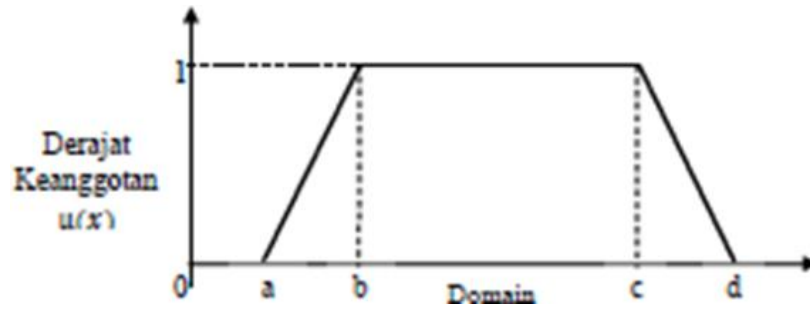
$a$  = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

$b$  = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

$c$  = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

### c. Representatif Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan. Representasi kurva trapesium dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Representasi Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan kurva trapesium :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$a$  = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

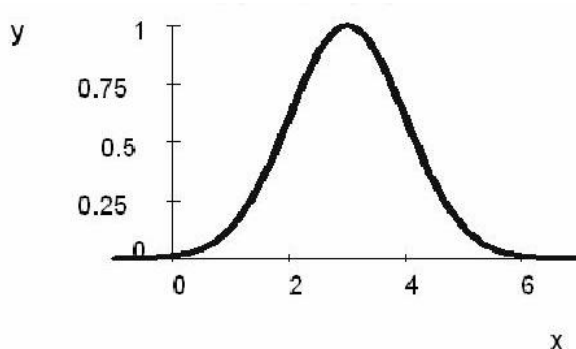
$b$  = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

$c$  = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

$d$  = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

#### d. Representatif Kurva Gauss

Representatif kurva gauss adalah fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dengan dua buah parameter  $a, b \in \mathbb{R}$ . Representasi kurva gauss bisa dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Representatif Kurva Gauss

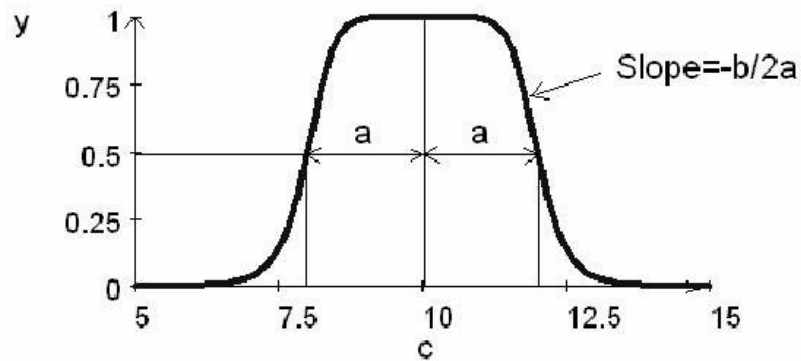
Fungsi keanggotaan kurva gauss :

$$\mu_A(x) = e^{-\left[\frac{x-a}{b}\right]^2} \quad (2.6)$$

Dimana  $x = a$  adalah pusat dan  $b$  menentukan lebar dari fungsi keanggotaan gauss tersebut.

**e. Representatif Kurva Bentuk Lonceng/Cauchy (*Generalized Bell*)**

Representatif kurva bentuk lonceng/cauchy (*generalized bell*) adalah fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dengan tiga buah parameter  $a, b, c \in \mathbb{R}$ . Representasi kurva bentuk lonceng bisa dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Representatif Kurva Cauchy

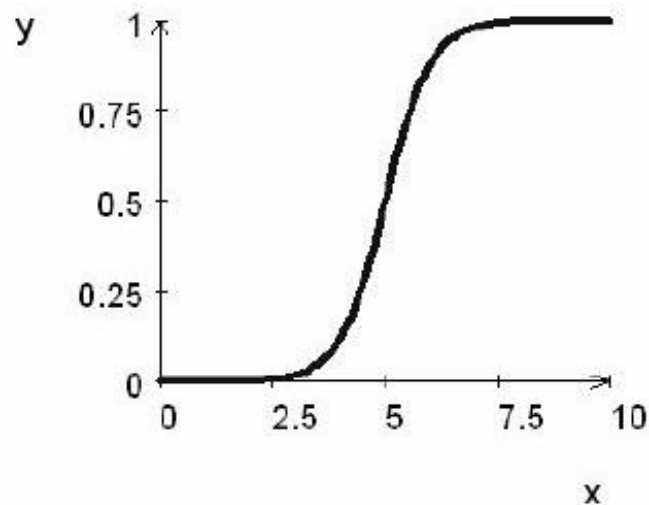
Fungsi keanggotaan kurva bentuk lonceng :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.7)$$

Dimana  $x=c$  adalah pusat,  $a$  menentukan lebar, dan  $b$  menentukan kemiringan (*slope*) di titik silang dari fungsi keanggotaan Cauchy.

**f. Representatif Kurva Sigmoid**

Representatif kurva sigmoid adalah fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dengan dua buah parameter  $a, b \in \mathbb{R}$ . Representasi kurva sigmoid dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Representatif Kurva Sigmoid

Fungsi keanggotaan kurva sigmoid :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (2.8)$$

Dimana  $a$  menentukan kemiringan fungsi keanggotaan sigmoid tersebut di titik silang  $x=c$ .

## 5. Operasi Pada Himpunan Fuzzy

Operasi dasar pada himpunan *fuzzy* ada tiga, yaitu: komplemen, gabungan, dan irisan. Berikut definisi dari ketiga operasi tersebut:

### Definisi 2.1. Operasi dasar komplemen (Klir, 1997:90)

Diberikan himpunan fuzzy  $A$  pada himpunan semesta  $U$ , komplemen dari himpunan fuzzy  $A$  adalah  $\bar{A}$  atau  $A^c$  didefinisikan sebagai

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U \quad (2.9)$$

### Definisi 2.2. Operasi dasar gabungan (Klir, 1997:92)

Diberikan himpunan semesta  $U$  dan dua himpunan fuzzy  $A$  dan  $B$  pada  $U$ . Operasi dasar gabungan  $A$  dan  $B$  ditulis  $A \cup B$  didefinisikan dengan

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in U \quad (2.10)$$

### Definisi 2.3. Operasi dasar irisan (Klir, 1997: 93)

Diberikan dua himpunan fuzzy  $A$  dan  $B$  pada himpunan semesta  $U$ . Operasi dasar irisan  $A$  dan  $B$  ditulis  $A \cap B$  didefinisikan dengan

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in U \quad (2.11)$$

Operator dasar gabungan bisa disimbolkan dengan  $\cup$  atau ditulis dengan “OR” sedangkan operator dasar irisan bisa disimbolkan dengan  $\cap$  atau ditulis dengan “AND”.

## 6. Sistem Fuzzy

Sistem *fuzzy* merupakan sistem berdasarkan aturan himpunan *fuzzy*. Beberapa keistimewaan sistem *fuzzy* (Wang, 1997) yaitu:

- a. Sistem *fuzzy* cocok digunakan pada sistem pemodelan karena variabelnya bernilai real.
- b. Sistem *fuzzy* menyediakan kerangka yang digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan *fuzzy* jika-maka yang bersumber dari pengalaman manusia.
- c. Terdapat berbagai pilihan dalam menentukan *fuzzifier* dan *defuzzifier* sehingga dapat diperoleh sistem *fuzzy* yang paling sesuai dengan model.



Elemen dasar dalam sistem fuzzy (Wang, 1997) :

- a. Basis kaidah (*rule base*), berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar.
- b. Mekanisme pengambil keputusan (*inference engine*), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*).
- c. Proses fuzzifikasi (*fuzzification*), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai *fuzzy*.
- d. Proses defuzzifikasi (*defuzzification*), yaitu mengubah nilai *fuzzy* hasil inferensi menjadi nilai tegas.

## E. Fuzzy Inference System

### i. Metode Mamdani

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk penelitian dibandingkan metode yang lain. Input dan output pada metode mamdani berupa himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2002). Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max sehingga metode Mamdani juga disebut dengan metode MIN-MAX (*min-max inferencing*). Untuk mendapatkan output, dalam metode mamdani terdapat 4 tahapan :

- a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy* (Fuzzifikasi)

Menentukan semua variabel yang akan digunakan untuk masing-masing variabel input, tentukan fungsi fuzzifikasi yang sesuai. Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

- b. Pembentukan aturan dasar *fuzzy*

Aturan yang digunakan pada himpunan *fuzzy* adalah aturan *if-then*. Aturan *fuzzy IF-THEN* merupakan pernyataan yang direpresentasikan dengan

$$IF < \text{proposisi fuzzy} > THEN < \text{proposisi fuzzy} >$$

Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan *single* dimana  $x$  sebagai variabel linguistik dan  $A$  adalah himpunan *fuzzy* dari  $x$ . Proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “*or*”, “*and*”, dan “*not*” (Wang, 1997).

c. Komposisi aturan

Komposisi aturan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan apabila sistem terdiri dari beberapa aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu:

i. Metode Max (*Maximum*)

Pada metode max ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap preposisi.

ii. Metode *Additive (Sum)*

Pada metode *Additive* ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua output daerah *fuzzy*.

iii. Metode Probabilistik OR (*Probor*)

Pada metode probabilistik OR ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua output daerah *fuzzy*.

d. Penegasan (*Defuzzifikasi*)

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. (Wang, 1997) mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* ( $B$ ) ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud disini adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi. Pada proses defuzzifikasi ada tiga

kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Berikut adalah beberapa metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi (Kusumadewi, 2002).

i. Metode *Centroid*

Metode *Centroid* disebut juga metode *Center of Gravity* atau metode pusat luas (*Center of Area, CoA*). Proses defuzzifikasi pada metode *Centroid* adalah dengan mengambil nilai titik pusat ( $x^*$ ) dari daerah pada fungsi keanggotaan  $B$ . Rumus metode *centroid* (Wang, 1997).

Selain mudah dalam perhitungan, keuntungan menggunakan metode *centroid* adalah nilai *defuzzy* bergerak halus sehingga perubahan dari suatu topologi himpunan *fuzzy* ke topologi himpunan *fuzzy* berikutnya juga bergerak secara halus.

ii. Metode Bisektor

Metode bisektor mengambil nilai pada domain himpunan *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy* sebagai solusi tegas.

iii. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

iv. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

v. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Dari beberapa metode defuzzifikasi tersebut, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode *centroid*.

**ii. Metode Sugeno**

Berbeda dengan metode Mamdani, metode Sugeno juga menggunakan himpunan *fuzzy* pada inputnya. Akan tetapi, *output* yang

digunakan pada metode Sugeno adalah konstanta atau persamaan linier. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Takagi- Sugeno Kang pada tahun 1985 (Kusumadewi, 2002). Jika pada metode Mamdani proses defuzzifikasi menggunakan agregasi daerah kurva, maka pada metode Sugeno agregasi berupa singleton-singleton. Sama halnya dengan metode mamdani, metode Sugeno juga terdapat 4 tahapan untuk memperoleh *output* yaitu :

a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy* (Fuzzifikasi)

Menentukan semua variabel yang akan digunakan. Untuk masing-masing variabel *input*, tentukan fungsi fuzzifikasi yang sesuai. Pada metode sugeno, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

b. Pembentukan aturan dasar *fuzzy*

Menyusun aturan-aturan implikasi-implikasi *fuzzy* yang menyatakan hubungan antara variabel *input* dan variabel *output*. Pada metode fuzzy Sugeno *output* sistem tidak berupa himpunan *fuzzy* tetapi berupa konstanta atau persamaan linier (Lukanto, Djoko, 2000).

c. Komposisi aturan

Komposisi aturan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan apabila sistem terdiri dari beberapa aturan. Komposisi pada logika fuzzy Sugeno metode yang digunakan sama dengan pada logika Mamdani yaitu metode Max (*maximum*). Perbedaan hanya terdapat pada daerah hasilnya yang berupa konstanta.

d. Penegasan (Defuzzifikasi)

Pada proses penegasan ini *output* berupa bilangan *crisp*. *Defuzzification* dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

Tabel 2.1 Tabel Perbandingan Tahapan Mamdani dan Sugeno

	Fuzzifikasi	Pembentukan Aturan Dasar	Komposisi Aturan	Defuzzifikasi	Output
Mamdani	Menentukan semua variabel yang akan digunakan untuk masing-masing variabel <i>input</i>	Aturan yang digunakan pada himpunan <i>fuzzy</i> adalah aturan <i>if-then</i>	Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu <i>maximum</i> , <i>additive</i> , probabilistic OR. Dalam penelitian ini menggunakan metode <i>maximum</i> .	Ada 5 metode dalam defuzzifikasi yaitu <i>centroid</i> , <i>bisector</i> , <i>MOM</i> , <i>LOM</i> , <i>SOM</i> . Pada penelitian ini menggunakan metode <i>centroid</i> .	Himpunan Fuzzy
Sugeno	Menentukan semua variabel yang akan digunakan untuk masing-masing variabel <i>input</i>	Aturan yang digunakan pada himpunan <i>fuzzy</i> adalah aturan <i>if-then</i>	Komposisi pada logika fuzzy Sugeno metode yang digunakan sama dengan pada logika Mamdani yaitu metode Max ( <i>maximum</i> )	Pada proses penegasan ini <i>output</i> berupa bilangan <i>crisp</i> . <i>Defuzzification</i> dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya ( <i>Weighted Average</i> ).	Konstanta

#### F. Pengujian Sistem Fuzzy

Tahap pengujian dilakukan untuk menguji apakah diagnosis yang dilakukan sudah sesuai atau belum. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menghitung keakurasian sistem. Keakurasian sistem didapat dari perbandingan antara hasil jumlah data yang sesuai dengan kenyataan dengan jumlah seluruh data. Secara matematis dapat dinyatakan dengan formula (Ramdhany, 2006):

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data benar}}{\text{Jumlah seluruh data}}$$

Kesalahan pada sistem didapat berdasarkan data masukan. Besar kesalahan dapat diketahui dengan cara:

$$\text{Kesalahan} = 100\% - \text{Akurasi}$$

Sistem *fuzzy* dengan tingkat keakurasian yang tinggi dianggap mampu mewakili diagnosis suatu permasalahan. Dalam hal ini, Kesamaan output model pada penelitian dengan pengamatan cuaca yang dilakukan oleh observer. Misalnya observasi menyatakan hujan ringan, sementara prediksi menghasilkan output hujan ringan – hujan sedang.

## **G. Toolbox Fuzzy Pada Matlab (*Matrix Laboratory*)**

### **1. Pengertian MATLAB**

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai bahasa pemrograman tingkat tinggi. Matlab digunakan untuk komputasi, visualisasi dan pemrograman. Matlab telah digunakan oleh peneliti-peneliti dari berbagai wilayah di dunia. Sampai saat ini program-program pada matlab masih terus diperbaharui. Pemrograman pada Matlab sering digunakan untuk pengembangan algoritma matematika dan pengembangan, pensisteman, simulasi dan prototype, analisis, eksplorasi dan visualisasi data, scientific dan engineering, pengembangan aplikasi berbasis grafik dan pembuatan *Graphical User Interface* (GUI).

### **2. Fuzzy Logic Toolbox**

*Fuzzy Logic Toolbox* adalah sekumpulan tool yang membantu dalam merancang model fuzzy untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. *Fuzzy logic toolbox* menyediakan lima tools untuk keperluan rancang bangun FIS (Putra et al., 2018):

#### *a. Fuzzy Inference System (FIS) Editor*

Merupakan tampilan awal pada *toolbox fuzzy*. Cara menampilkannya adalah dengan menuliskan fuzzy pada *command window*. Pada FIS editor hal yang harus diperhatikan adalah memilih inferensi fuzzy yang diinginkan.

#### *b. Membership Function*

Berfungsi mengedit tiap fungsi keanggotaan pada *input (anteseden)* dan *output (konsekuen)*, atau klik *input* atau *output* dua kali.

c. *Rule Editor*

Berfungsi untuk mengedit aturan yang akan atau telah disusun. Cara menampilkan rule editor adalah klik edit – rules.

d. *Rule Viewer*

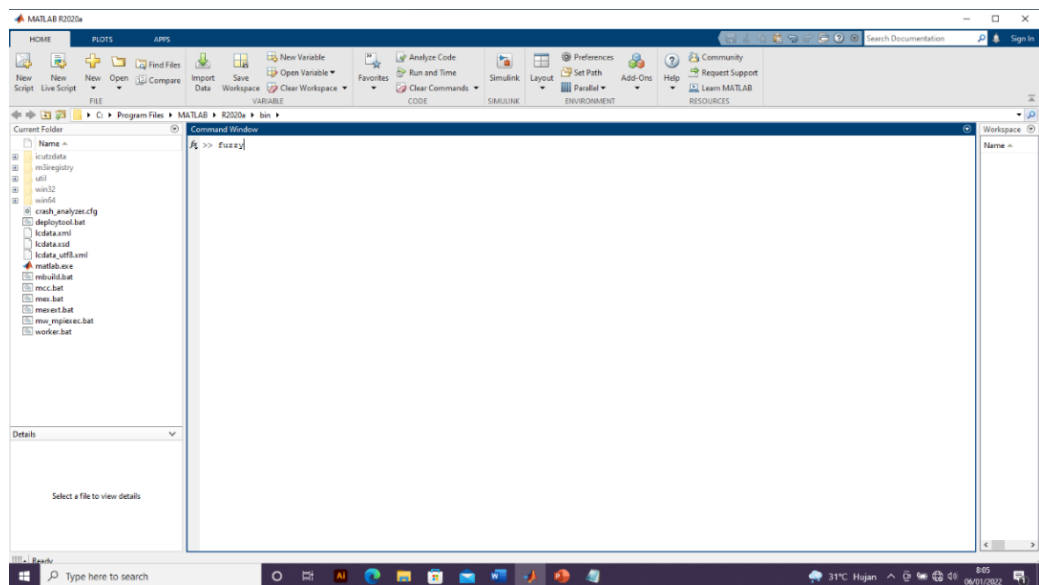
Berfungsi untuk menampilkan grafik input dan output. *Rule viewer* juga digunakan untuk memetakan tiap input sehingga diketahui hasil *output* berdasarkan data masukan. Cara menampilkan rule viewer dengan klik *view – rules* atau klik *ctrl+5*.

e. *Surface Viewer*

Berfungsi untuk menampilkan hasil pemetaan semua variabel input ke variabel *output*. Cara memanggil tampilan ini adalah dengan mengklik *view-surface* atau klik *ctrl+6*.

### 3. *Graphical User Interface (GUI)*

GUI adalah suatu media visual yang membuat pengguna memberikan perintah tertentu pada komputer tanpa menyetik perintah tersebut, tetapi menggunakan gambar yang tersedia (Vicky, 2012: 1). Keunggulan GUI Matlab yaitu GUI dapat dimunculkan dari Matlab dengan mengetikkan *guide* pada *command window* lalu pilih *Blank GUI (Default)* untuk menampilkan halaman baru.



Gambar 2.12 Tampilan Awal Software MATLAB R2020a

## H. Penelitian Yang Relevan

Studi pustaka merupakan kajian dari buku, skripsi, majalah, jurnal, internet dan lain-lain yang digunakan sebagai referensi yang terkait dengan variabel penelitian yang relevan dengan hasil penelitian lain. Adapun penelitian serupa yang dapat diasumsikan memiliki relevansi dengan penelitian ini adalah :

Tabel 2.2 Tabel Penelitian Yang Relevan

No	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	Prototipe Model Prediksi Peluang Kejadian Hujan Menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic</i> Tipe Mamdani dan Sugeno (Harmoko, I.W., & Az, N. Jurnal TICOM; Vol.1, No.1, 2012)	Hasil dari penelitian ini adalah Model <i>fuzzy logic</i> Tipe Mamdani lebih handal dibandingkan Tipe Sugeno untuk memprakirakan cuaca pada semua musim.	Menggunakan 5 parameter cuaca sebagai input yaitu (SOI, SST, MJO, LI dan RH) sedangkan penulis menggunakan 6 parameter input (ENSO, DMI, SST, MJO, Tekanan Udara, RH)
2	Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Logika <i>Fuzzy</i> (Puspita, E. S., & Yulianti, L. Jurnal Media Infotama; Vol.12, No.1, 2016)	Logika <i>Fuzzy</i> dengan Metode Sugeno sangat baik digunakan karena akurasi di atas 60%	Logika <i>Fuzzy</i> dengan Metode Sugeno, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis menggunakan Metode Mamdani dan Sugeno
3.	Analisa Teknik <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani Untuk Menentukan Prakiraan Cuaca (Harahap, Munandar, A. Jurnal Fisika : Seri Konferensi; Vol.1783, No.1, 2020)	Logika <i>Fuzzy</i> Tipe Mamdani sangat baik dipakai sebagai prakiraan cuaca karena akurasi di atas 60%	Logika <i>Fuzzy</i> Tipe Mamdani, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis menggunakan Tipe Mamdani dan Sugeno
4	Analisa Perbandingan Metode Sugeno dan Mamdani Dalam Sistem Prediksi Cuaca (Mahmud, Z. Jurnal Informatika, 2016)	Metode sugeno menghasilkan akurasi lebih besar dibandingkan dengan metode mamdani yaitu sebesar 76,67%	Menggunakan 5 parameter input (suhu, tekanan, kelembaban, kecepatan angin, intensitas cahaya), sedangkan penelitian yang dilakukan penulis menggunakan 6 parameter input (ENSO, DMI, SST, MJO, Tekanan Udara, RH)



5	Prediksi Nilai Ekspor Sepatu Kulit HS 6403 Ke Jepang Dengan Metode Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto (Rohimah, L. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer; Vol.4, No.2, Februari 2019)	Metode <i>fuzzy</i> mamdani paling dekat dengan hasil sebenarnya dengan tingkat error 7%.	Logika <i>Fuzzy</i> tipe Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto untuk prediksi nilai ekspor sepatu kulit HS 6403 ke Jepang, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan tipe Mamdani dan Sugeno untuk memprakirakan cuaca
6	<i>Fuzzy</i> Mamdani dan <i>Fuzzy</i> Tsukamoto Untuk Kesesuaian Prediksi Pemberian Kelayakan Pinjaman (Studi Kasus : Sentra Gadai) (Hadinegoro, A. INFOS Journal; Vol.3, No.2, November 2020)	Metode <i>Fuzzy</i> Mamdani memiliki tingkat kesesuaian cukup tinggi yaitu 90% dibanding tsukamoto yaitu 70%.	Metode <i>Fuzzy</i> Mamdani dan Tsukamoto untuk kesesuaian prediksi pemberian kelayakan pinjaman, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan tipe Mamdani dan Sugeno untuk memprakirakan cuaca
7	Perbandingan Logika <i>Fuzzy</i> Tsukamoto, Sugeno serta Mamdani untuk Memperkirakan Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains Teknologi (Irfan, M., Ayuningtias, L. P., & Juaidi, J. Jurnal Teknik Informatika; Vol.10, No.1, 2017)	Metode <i>fuzzy</i> mamdani lebih direkomendasikan dalam memperkirakan jumlah pendaftar mahasiswa baru Fakultas Sains Teknologi	Metode <i>Fuzzy</i> Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto untuk memprakirakan jumlah pendaftar mahasiswa baru, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan tipe Mamdani dan Sugeno untuk memprakirakan cuaca
8	Analisis Perbandingan Teknik <i>Fuzzy</i> Tsukamoto, Mamdani, serta Sugeno sebagai Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur (Widianingsih, S. Jurnal Ilmu	Dari ketiga metode hanya metode sugeno yang nilai t statistiknya masuk daerah trima, maka metode sugeno yang dipilih untuk pengambilan keputusan penerima raskin yang dilakukan oleh Bulog Cianjur.	Metode <i>Fuzzy</i> Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto untuk pengambilan keputusan penentuan jumlah distribusi raskin, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan tipe Mamdani dan Sugeno untuk memprakirakan cuaca

	Manajemen dan Informatika; Vol.11, No.1, 2017)		
9	Sistem Peramalan Cuaca dengan <i>Fuzzy Mamdani</i> ( Studi Kasus : BMKG Lasiana) (Welu, I. H., Rumlaklak, N.D., & Boru M. Jurnal Komputer dan Informatika; Vol.8, No.2, 2020)	Sistem yang dibangun menggunakan <i>Fuzzy Mamdani</i> dapat melakukan prakiraan cuaca dengan baik dengan tingkat akurasi sistem 61,062%	Logika <i>Fuzzy</i> Tipe Mamdani, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis menggunakan Tipe Mamdani dan Sugeno
10	Perbandingan <i>Fuzzy</i> Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno Dalam Penentuan Hari Baik Pernikahan Berdasarkan Wariga Menggunakan <i>Confusion Matrix</i> (Candana, E. W. H. Jurnal Ilmu Komputer Indonesia; Vol.6, No.2. 2021)	Dari tiga metode logika <i>fuzzy</i> , metode Sugeno memberikan nilai presentasi akurasi prediksi terbaik dalam menentukan hari baik pernikahan dengan nilai presentasi 82,76%	Metode <i>Fuzzy</i> Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto untuk penentuan hari baik pernikahan, sedangkan penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan tipe Mamdani dan Sugeno untuk memprakirakan cuaca