



**SURAT KETERANGAN**  
**MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**384/A.01/TL-FTSP/Itenas/VIII/2023**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.  
Jabatan : Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Itenas  
NPP : 40909

Menerangkan bahwa,

Nama : Taufik Rizki Ramadhan  
NRP : 252019106  
Email : [taufiqrizky548@gmail.com](mailto:taufiqrizky548@gmail.com)

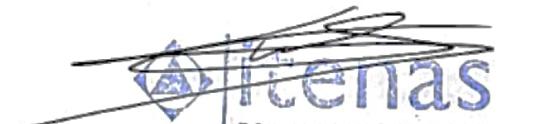
Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut:

Nama Kegiatan : Praktik Kerja – VALIDASI DATA MOEDL WRF – CHEM DAN DATA OBESERVASI AQMS KUALITAS UDARA (STUDI KHASUS KOTA TERNATE)  
Tempat : BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL (BRIN)  
Waktu : 1 Agustus 2022 – 4 September 2022  
Sumber Dana : Mandiri

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan  
Itenas,



(Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.)  
NPP. 40909

**VALIDASI DATA MODEL WRF – CHEM DAN DATA  
OBSERVASI AQMS KUALITAS UDARA (STUDI  
KASUS KOTA TERNATE)**

**KERJA PRAKTIK**



**Oleh:**

**TAUFIK RIZKI RAMADHAN**

**252019106**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
BANDUNG  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### LAPORAN PRAKTIK KERJA

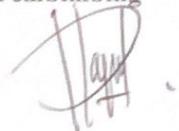
#### VALIDASI DATA MODEL WRF – CHEM DAN DATA OBSERVASI AQMS KUALITAS UDARA (STUDI KASUS KOTA TERNATE)

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Mata Kuliah Kerja Praktik (TLA-490) Pada  
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas  
Teknik Sipil dan Perencanaan Institut  
Teknologi Nasional Bandung

Disusun Oleh:  
Taufik Rizki Ramadhan  
25-2019-106  
Bandung, 06 Januari 2023  
Semester Ganjil 2022/2023

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Didin Agustian Permadi, S.T., M.Eng.

Koordinator Kerja Praktik



Mila Dirgawati, S.T., M.T., Ph.D.

NIDN/NIDK:0420088009

NIDN/NIDK: 0409058001

Ketua Program Studi



Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.

NIDN/NIDK: 0403047803

## **KATA PENGANTAR**

Salam sejahtera puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena penyertaan dan berkat-Nya, sehingga Laporan Praktik Kerja dengan judul Validasi Data Model WRF – Chem dan Data Model AQMS di Perusahaan Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Diri sendiri yang sudah berusaha semaksimal mungkin untuk mengerjakan laporan Praktik Kerja ini.
2. Bapak Dr. Eng. Didin Agustian P, S.T., M.eng selaku dosen pembimbing kerja praktik yang sudah banyak membantu selama kerja praktik berlangsung dan dalam pembuatan laporan ini.
3. Ibu Yulianti Pratama, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, ilmu, dan arahan dalam melengkapi laporan ini.
4. Ibu Dr. Sumariyati, M.T. peneliti ahli madya selaku pembimbing lapangan dari penulis selama berada di Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN).
5. Bapak, Ibu, Kakak, dan Abang dari Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu
6. Teman-teman dari penulis yaitu Naufal, Aristian, Rezi dan Rachel yang sudah membantu dalam pembuatan laporan ini
7. Teman–teman Teknik Lingkungan Angkatan 2019 yang sudah banyak membantu dalam pembuatan laporan ini terutama Helmi, Rizqon, Firman, Fauzan dan Ghafa.
8. Pihak lain yang tidak disebutkan, tetapi telah membantu dalam pembuatan laporan ini.

Akhir kata penulis berharap walaupun kiranya laporan ini jauh dari kata sempurna, tetapi dapat bermanfaat bagi penulis dan siapapun yang membacanya. Untuk itu demi perbaikan kedepannya, semua saran dan kritik dari siapapun yang sudah membaca laporan ini akan penulis terima dengan senang hati. Terima kasih.

Bandung, 20 Februari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b><u>LEMBAR PENGESAHAN</u></b> .....	i
<b><u>KATA PENGANTAR</u></b> .....	ii
<b><u>DAFTAR ISI</u></b> .....	iv
<b><u>DAFTAR TABEL</u></b> .....	viii
<b><u>DAFTAR GAMBAR</u></b> .....	ix
<b><u>BAB I</u></b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	3
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan .....	4
1.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	4
1.4.1 Pelaksana Praktik Kerja .....	4
1.4.2 Pembimbing Praktik Kerja.....	5
1.4.3 Pembimbing Lapangan.....	5
1.5 Metodelogi Pelaksanaan Kerja Praktik .....	5
1.6 Sistematika Pembahasan .....	7
<b><u>BAB II</u></b> .....	8
2.1 Gambaran Umum Pusat Riset Iklim dan Atmosfer - Badan Riset dan Inovasi Nasional.....	8
2.1.1 Rencana Kerja .....	9
2.1.2 Struktur Organisasi .....	11
2.1.3 Visi dan Misi .....	12
2.1.4 Tujuan dan Sasaran .....	12
2.1.5 Tugas Pokok dan Fungsi .....	13

<u>2.2 Gambaran Umum Kota Ternate .....</u>	15
<u>2.2.1 Kondisi Administratif .....</u>	16
<u>2.2.2 Kondisi Topografi .....</u>	17
<u>2.2.3 Kondisi Hidrogeologi .....</u>	19
<u>2.2.4 Kondisi Klimatologi .....</u>	19
<u>2.2.5 Demografi .....</u>	20
<u>2.2.6 Kondisi Transportasi .....</u>	21
<u>2.2.7 Kondisi Industri.....</u>	23
<b><u>BAB III.....</u></b>	<b>24</b>
<u>3.1 Udara.....</u>	24
<u>3.2 Pencemaran Udara .....</u>	25
<u>3.3 Sumber Pencemar Udara.....</u>	26
<u>3.4 Jenis-Jenis Pencemaran Udara .....</u>	27
<u>3.5 Pengendalian Pencemaran Udara.....</u>	28
<u>3.6 Faktor Pencemaran Udara .....</u>	28
<u>3.7 Kualitas Udara.....</u>	30
<u>3.8 Particulate Matter 2,5 (PM2,5).....</u>	34
<u>3.9 Materi Partikulat.....</u>	35
<u>3.10 Evaluasi Kinerja Model.....</u>	36
<u>3.11 Evaluasi Model Ozon.....</u>	39
<u>3.12 Mean Normalized Gross Error .....</u>	39
<u>3.13 Mean Normalized Bias Error .....</u>	40
<u>3.14 Unpaired Peak Accuracy .....</u>	40
<u>3.15 Evaluasi Model Pm .....</u>	40
<u>3.16 Mean Fractional Bias and Ereor .....</u>	41

<u>3.17 Root Mean Square Error</u> .....	41
<u>3.18 Ozon (O3)</u> .....	42
<u>3.19 Sulfur Dioksida (SO2)</u> .....	44
<u>3.20 Weather Research and Forecasting (WRF-CHEM)</u> .....	44
<u>3.21 Air Quality Monitoring System</u> .....	45
<u>3.22 Pola Diurnal</u> .....	46
<b><u>BAB IV</u></b> .....	<b>47</b>
<u>4.1 Rata – rata 1 Jam Data Observasi AQMS</u> .....	47
<u>4.1.1 Rata-Rata Per 1 Jam Konsentrasi Ozon (O3) Di Kota Ternate</u> .....	50
<u>4.1.2 Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Pm2.5 di Kota Ternate</u> .....	54
<u>4.1.3 Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi So2 di Kota Ternate</u> .....	59
<u>4.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS</u> .. 63	
<u>4.3 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS O3 (ozon) Dengan Metode RMSE, UPA, MNGE dan MNBE</u> .....	64
<u>4.3.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode RSME</u> .....	65
<u>4.3.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode UPA</u> .....	68
<u>4.3.3 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode MNGE</u> .....	70
<u>4.3.4 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode MNBE</u> .....	73
<u>4.4 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Partikulat (Pm2.5) Dengan Metode RMSE, MFB, dan MFE</u> .....	75
<u>4.4.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode RMSE</u> .....	76

<u>4.4.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode MFB.....</u>	<u>79</u>
<u>4.4.3 Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode MFE.....</u>	<u>81</u>
<u>4.5 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Sulfur Dioksida (So2) Dengan Metode RMSE.....</u>	<u>84</u>
<u>4.5.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi So2 di Kota Ternate Metode RMSE .....</u>	<u>84</u>
<u>4.6 Pola Diurnal Perbandingan Data Model WRF-Chem dan data Observasi AQMS Parameter O3, Pm2,5 dam So2.....</u>	<u>87</u>
<b><u>BAB V.....</u></b>	<b><u>90</u></b>
<u>5.1 Kesimpulan .....</u>	<u>90</u>
<u>5.2 Saran.....</u>	<u>92</u>
<b><u>DAFTAR PUSTAKA.....</u></b>	<b><u>93</u></b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1.Wilayah Admistratif Kota Ternate.....	18
Tabel 2. 2.Temperatur dan Kelembapan Udara Kota Ternate .....	21
Tabel 2. 3.Jumlah Penduduk di Kota Ternate .....	22
Tabel 2. 4.Jumlah Kendaraan Bermotor dan Kendaraan Baru yang Terdaftar di Samsat Kota Ternate 2021 .....	23
Tabel 2. 5.Jumlah Angkutan Umum yang Terdaftar di Dinas Perhubungan Kota Ternate.....	24
Tabel 2. 6.Jumlah Kapal Cepat yang Terdaftar di Dinas Perhubungan 2021 .....	24
Tabel 3. 1.Kriteria Saran Model Performance Evaluation.....	39
Tabel 4. 1.Konsentrasi So <sub>2</sub> , Pm <sub>2,5</sub> dan O <sub>3</sub> di Kota Ternate 2022 .....	48
Tabel 4. 2.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Ozon (O <sub>3</sub> ) di Kota Ternate .....	51
Tabel 4. 3.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Pm <sub>2.5</sub> di Kota Ternate .....	56
Tabel 4. 4.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi So <sub>2</sub> di Kota Ternate .....	60
Tabel 4. 5. Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O <sub>3</sub> ) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode RSME .....	67
Tabel 4. 6.Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O <sub>3</sub> ) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode UPA .....	69
Tabel 4. 7.Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O <sub>3</sub> ) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MNGE .....	72
Tabel 4. 8.Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O <sub>3</sub> ) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MNBE.....	74
Tabel 4. 9.Perbandingan Data konsetrasi Pm <sub>2.5</sub> Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode RMSE .....	78
Tabel 4. 10.Perbandingan Data konsetrasi Pm <sub>2.5</sub> Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MFB .....	80

Tabel 4. 11.Perbandingan Data konsetrasi Pm2.5 Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MFE.....	83
Tabel 4. 12.Perbandingan Data konsetrasi So <sub>2</sub> Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate RMSE .....	86
.	

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional .....	13
Gambar 2. 2 Peta Kota Ternate .....	17
Gambar 2. 3. Peta Topografi Kota Ternate .....	19
Gambar 3. 1 Air quality Monitoring Station (AQMS).....	46
Gambar 4. 1. Pola Diurnal Perbandingan O <sub>3</sub> Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate.....	90
Gambar 4. 2.Pola Diurnal Perbandingan Pm2.5 Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate.....	91
Gambar 4. 3.Pola Diurnal Perbandingan So <sub>2</sub> Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate.....	92

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang memiliki pengaruh penting terhadap kehidupan manusia dan ekosistem. Pencemaran udara berasal dari berbagai sumber seperti pembakaran batu bara, pembakaran BBM pada sarana transportasi (darat, laut dan udara), pembakaran pada proses industri dan pengelolahan limbah domestik serta zat kimia yang langsung diemisikan ke udara oleh kegiatan manusia. Saat ini lebih dari 70% sumber pencemar di Indonesia berasal dari kendaraan bermotor, terutama di kota-kota besar di Indonesia (Ismiyati et al, 2014). Kandungan emisi gas buang yang dihasilkan berupa NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM10, PM2,5, Pb dan O<sub>3</sub>. Apabila jumlah polutan yang dihasilkan melebihi ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan maka dapat mempengaruhi kesehatan manusia, kesuburan daerah pertanian dan perkebunan, bahkan dapat mempengaruhi kerusakan infrastruktur untuk jangka waktu yang lebih lama.

Pemodelan udara adalah alat untuk menganalisis dan menginterpretasi hasil inventarisasi emisi dan pemantauan kualitas udara. Pemodelan kualitas udara memanfaatkan data, kemudian menganalisisnya menjadi sebuah data yang lengkap dan terus-menerus, Data-data yang dihasilkan dari pemodelan tersebut dapat dipakai dalam: penyusunan regulasi (pembuatan AMDAL, penyusunan KLHS), proses pembuatan dan simulasi skenario kebijakan sebelum diimple,mentasikan, dll. Pemodelan kualitas udara memiliki manfaat dan peran yang besar dalam mewujudkan lingkungan hidup yang bersih dan sehat, Selain sebagai bagian dari sebuah strategi lingkungan hidup. Pemodelan kualitas udara juga membantu dalam memberikan data yang faktual serta menyajikan analisis dan interpretasi dari data tersebut. Sehingga pemodelan kualitas udara menjadi alternatif untuk upaya pemantauan kualitas udara yang lebih efektif, namun tetap representatif tanpa melakukan pemantauan secara intensif, Pemodelan kualitas udara dapat digunakan dalam: mendesain alat pengendali pencemaran udara, proses penghitungan dampak

kesehatan dari pencemaran udara, upaya prediksi konsentrasi pencemaran udara saat regulasi akan ditetapkan.

Faktor meteorologi merupakan salah satu faktor utama dalam proses dinamika polutan di atmosfer (Holton,2014). Beberapa parameter meteorologi seperti *temperature*, kecepatan angin dan arah angin, stabilitas atmosfer dan tinggi pencampuran (*mixing height*) yang berubah-ubah setiap waktu menjadi faktor penting bagi proses distribusi polutan. Di sisi lain, kondisi meteorologi di suatu wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya karakteristik topografi. Kota Ternate merupakan salah satu kota di Indonesia yang memiliki topografi yang unik. Hal ini disebabkan karena Ternate memiliki iklim tropis yang sangat dipengaruhi oleh iklim laut dan memiliki dua musim yang sering kali diselingi dengan dua kali masa puncak di setiap tahunnya. Selama tahun 2021, rata-rata suhu tahunannya sebesar 27°C suhu udara terhangat mencapai 33°C di Kota Ternate. Sepanjang tahun 2021 suhu udara tidak mengalami perubahan cuaca ekstrim. Rata-rata dalam setahun, Kota Ternate memiliki kelembapan udara yang cukup tinggi yaitu mencapai 81% dan juga meningkatnya pertumbuhan penduduk setiap tahunnya kondisi topografi seperti mempengaruhi sirkulasi atmosfer dan polutan di Kota Ternate.

Secara astronomis, Kota Ternate terletak di antara 0°025'41,82" - 1°021'21,78" Lintang Utara dan antara 126°07'32,14" - 127°026'23,12" Bujur Timur, secara geografis kota Ternate dibatasi oleh Utara : Laut Maluku, Selatan : Kota Tidore Kepulauan dan Kabupaten Halmahera Selatan, Timur : Pulau Halmahera, dan Barat : Laut Maluku dan Pulau Sulawesi. Salah satu model yang bisa digunakan untuk memodelkan kondisi udara ambien adalah Weather Research and Forecasting WithChemical (WRF-CHEM). WRF-Chem adalah model cuaca skala regional yang memodelkan kondisi meteorologi dan interaksinya dengan senyawa-senyawa kimia yang ada di atmosfer secara spasial dan temporal. Simulasi WRF\_CHEM menggunakan inventori emisi regional dapat memperbaiki hasil simulasi serta menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan inventori emisi skala global (Faisal, I dan Sofyan, A. 2019).

Air Quality Monitoring System (AQMS) adalah sistem pemantauan kualitas udara ambien secara otomatis, kontinu (24 jam), dan real-time data. Dengan pengembangan teknologi yang makin canggih, model WRF dapat digabungkan dengan data observasi yang disebut dengan Teknik Asimilasi model. Dalam penelitian data yang diolah dalam WRF-CHEM baik diasimilasi maupun tanpa asimilasi dengan data pengamatan seberdanarnya di kota ternate dengan studi kasus tanggal 02 mei 2022 jam 00.00 UTC hingga tanggal 03 mei 2022 jam 23.00 UTC (selama 2 hari), sehingga dapat membandingkan agar di ketahui akurasi dari ke dua data tersebut yaitu data model WRF\_CHEM dan data observasi valid atau tidak

## **1.2 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari pelaksanaan dari praktik kerja di Pusat Riset Iklim dan Amosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional untuk memvalidasi antara data WRF-CHEM dan data Observasi AQMS kualitas udara (Studi Kasus Kota Ternate). Selama 2 hari yaitu 02 mei 2022 – 03 mei 2022 di kota Ternate, dari kegiatan ini validasi ini mendapatkan estimasi pola penyebaran kualitas udara spesifik dan respresentatif di kota Ternate tersebut menggunakan data dari 3 parameter yaitu SO2, O3, dan PM2.5. Tujuan dari pelaksanaan praktik kerja di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional, yaitu:

1. Memvalidasi antara data model WRF-CHEM dan data Observasi AQMS di Kota Ternate.
2. Membuat rata-rata per 1 jam dari ke dua kosentrasi yang dihasilkan dari parameter SO2, O3, dan PM2.5.
3. Membuat pola diurnal dari ke 3 parameter yaitu SO2, PM2.5 dan O3 dari data tersebut.
4. Menganalisa data dari pola diurnal yang dihasilkan.

### **1.3 Ruang Lingkup Kegiatan**

Ruang lingkup kegiatan pelaksanaan praktik kerja adalah sebagai berikut:

1. Kegiatan praktik kerja dilakukan di bawah pengawasan peneliti ahli madya Pusat Riset Iklim dan Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional.
2. Mengelola data yang ada di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional.
3. Membuat pola diurnal dari data 3 parameter yaitu SO<sub>2</sub>, P.m25 dan O<sub>3</sub> di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional.
4. Menganalisa data dari pola diurnal yang dihasilkan di bawah pengawasan pembimbing dari Pusat Riset Iklim dan Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional.
5. Memvalidasi data perbandingan model keluaran WRF-Chem dan data model AQMS konsentrasi ozon menggunakan metode statistik RMSE, UPA, MNGE, dan MNBE.
6. Memvalidasi data perbandingan keluaran WRF-Chem dan data model AQMS konsentrasi Pm2.5 menggunakan metode statistik RMSE, MFB, dan MFE.
7. Memvalidasi data perbandingan keluaran WRF-Chem dan data model AQMS konsentrasi SO<sub>2</sub> menggunakan metode statistik RMSE

### **1.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan**

Kegiatan Praktek Kerja dilaksanakan di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer - Badan Riset dan Inovasi Nasional, yang berlokasi di Jl. Djundjunan No.133 Bandung, Jawa Barat. Waktu pelaksanaan dilakukan selama sekitar 1 bulan atau 26 hari kerja yang dimulai dari tanggal 1 Agustus 2022 sampai dengan selesai, yang dilaksanakan setiap hari kerja Senin-Jum'at dengan jam kerja yang disesuaikan.

#### **1.4.1 Pelaksana Praktik Kerja**

Nama : Taufik Rizki Ramadhan  
NIM : 25-2019-106  
Prodi : Teknik Lingkungan  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

### **1.4.2 Pembimbing Praktik Kerja**

Nama : Dr. Eng Didin Agustian P., M.Eng.

Jurusan : Teknik Lingkungan

### **1.4.3 Pembimbing Lapangan**

Nama : Dr. Sumariyati, M.T.

Bagian : Pusat Riset Iklim dan Atmosfer

Jabatan : Peneliti Ahli Madya

### **1.5 Metodelogi Pelaksanaan Kerja Praktik**

Pada laporan kerja praktik “Validasi data model WRF-CHEM dan data Observasi kualitas udara (Studi Kasus Kota Ternate) Menggunakan metodologi sebagai berikut:

#### **1. Menerima data model WRF-CHEM dan data Observasi**

Data yang digunakan untuk melakukan perbandingan di berikan oleh pembimbing dari Pusat Riset Iklim dan Amosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional.

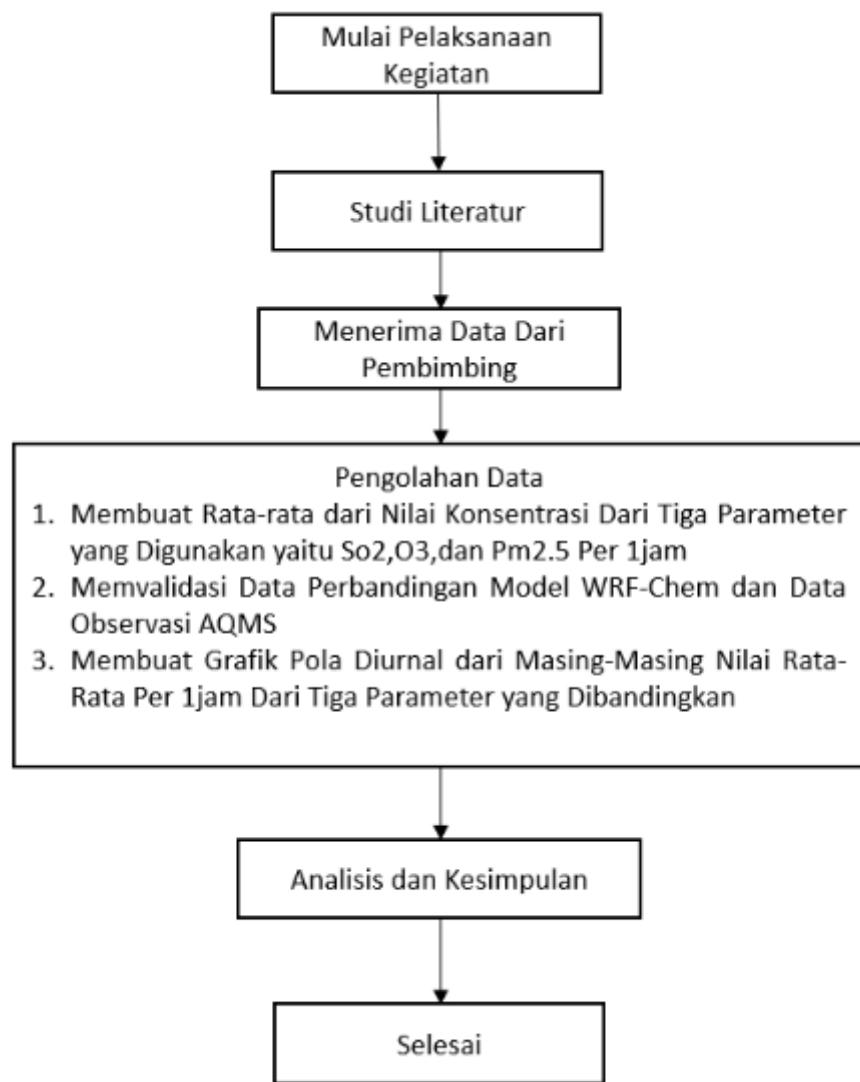
#### **2. Pengolahan Data**

Pengolahan data pada metodologi ini mencakup:

- a. Membuat rata-rata dari nilai konsentrasi dari ke tiga parameter yang digunakan yaitu O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, dan PM2.5 Per 1 jam
- b. Membuat grafik pola diurnal dari masing – masing nilai rata-rata per 1 jam dari ke tiga parameter yang di gunakan
- c. Analisa dan Kesimpulan

Pada bagian ini, di lakukan Analisa terhadap hasil data pola diuranal yang di peroleh dari ke dua data model WRF-CHEM dan data model observasi dari ke tiga parameter yang diamati O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> dan PM2.5 terkait pemantauan udara Kota Ternate kemudian membandingkan kevalidasian antara ke dua data tersebut diharapkan menjadi masukan atau rekomendasi terhadap pengendalian pencemaran udara oleh BRIN.

Alur diagram metodologi yang di gunakan pada laporan “validasi anatar data WRF-CHEM dan data Observasi kualitas udara (Studi Kasus Kota Ternate) dapat dilihat pada



**Gambar 1. Metodologi Kerja Praktik**

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Sistemmatika penulisan dalam mengerjakan laporan kerja praktik ini meliputi:

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang latar belakang, maksud dan tujuan ruang lingkup, metodologi, pelaksanaan, lokasi kerja praktik, pelaksanaan kerja praktik dan sistematika penulisan.

### **BAB II Gambaran Umum**

Bab ini menjelaskan mengenai instansi terkait yaitu Pusat Riset Iklim dan Astronomi - Badan Riset dan Inovasi Nasional dan kondisi eksisting lokasi validasi data keluaran model WRF-CHEM dan data Observasi yaitu Kota Ternate.

### **BAB III Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisi mengenai kualitas udara, WRF-Chem, data Observasi, parameter yang digunakan dan mekanisme pemantauan kualitas udara diantaranya pemilihan lokasi, dan alat pemantau yang digunakan.

### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Bab ini membahas mengenai validasi antar data mode WRF-Chem dan data observasi di Kota Ternate berdasarkan data – data yang di dapat dari hasil pemantauan di Kota Ternate. Pembahasan pertama mengenai rata-rata konsentrasi per 1jam dari data AQMS, untuk dapat membandingkan kedua model antara AQMS dan WRF-Chem perlu dilakukan persamaan antara kedua data. Pengamatan data WRF-Chem dilakukan melalui pemantauan per 1 jam sedangkan AQMS dilakukan dengan per 30 menit sehingga data model AQMS perlu dirata-ratakan per 1 jam untuk dapat di bandingkan. Berikut rumus untuk rata-rata:

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{K}$$

Keterangan:

$\bar{X}_1$  = Data pemantauan 30 menit pertama

$\bar{X}_2$  = Data pemantauan 30 menit kedua

K = jumlah subgroup

Memvalidasi antara data model observasi AQMS dan data model WRF-Chem dari 3 parameter yang digunakan yaitu O<sub>3</sub>, Pm2.5 dan So<sub>2</sub>. Validasi dilakukan dengan menggunakan metode statistik. Untuk parameter O<sub>3</sub> menggunakan metode statistik

RMSE, UPA, MNBE dan MNGE. Sedangkan untuk parameter Pm2.5 menggunakan metode statistik RMSE, MFE, dan MFB. Untuk parameter So2 menggunakan metode statistik RMSE.

Berikut rumus untuk memvalidasi data model menggunakan metode statistik:

**Tabel 1. 1. Kriteria Saran Model Performance Evaluation**

PARAMETER	Formula	Kriteria Saran
Mean Bias (MB)	$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)$	WS: $\leq \pm 0.5 \text{ m/s}$
		WD: $\leq \pm 10 \text{ deg}$
		T: $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$
		RH: $\leq \pm 1 \text{ g/kg}$
Mean Normalized Gross Error (MNGE)	$MNGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{ M_i - O_i }{O_i} \times 100$	ozone: $\leq 35\%$
Unpaired Peak Accuracy (UPA)	$UPA = \frac{M_{max} - O_{max}}{O_{max}} \times 100$	ozone: $\leq 25\%$
Mean Absolute Gross Error (MAGE)	$MAGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n  M_i - O_i $	WD: $\leq \pm 30^\circ$
		T: $\leq \pm 2^\circ\text{C}$
		RH: $\leq \pm 2 \text{ g/kg}$
Root Mean-Square Error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (M_i - O_i)^2}$	WS: $\leq \pm 2 \text{ m/s}$
Index Of Agreement (IOA)	$IOA = 1 - \left[ \frac{\frac{N \times RMSE^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - O_i) + (O_i - O^-)^2}}{\sum_{i=1}^n (M_i - O^-) + (O_i - O^-)^2} \right]$	WD: $\geq + 0.6$
		T: $\geq + 0.8$
		RH: $\geq + 0.6$

PARAMETER	Formula	Kriteria Saran
Mean Normalized Bias Error (MNBE)	$MNBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{ M_i - O_i }{O_i}$	ozone: $\leq 15\%$
Mean Fractional Bias (MFB)	$MFB = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(M_i - O_i)}{(M_i + O_i)} \right] \times 100$	PM: $\leq \pm 30\%$ (Goal)
		PM: $\leq \pm 60\%$ (Kriteria)
Mean Fractional Error (MFE)	$MFE = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{ M_i - O_i }{(M_i + O_i)} \right) \times 100$	PM: $\leq \pm 50\%$ (Goal)
		PM: $\leq \pm 75\%$ (Kriteria)

(Sumber; Emery et al.2001, USEPA 1991, Boylan and Russell 2006)

Analisa pola diurnal maka di perlukan pembuatan grafik dari hasil data yang didapatkan selama 2 hari pemantauan yaitu 2-3 mei 2021. Sehingga dapat dilakukan analisis dari pola grafik yang dihasilkan,

## BAB V Kesimpulan dan Saran

bab ini menguraikan tentang kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan hasil validasi.

## **BAB II**

### **GAMBARAN UMUM**

#### **2.1 Gambaran Umum Pusat Riset Iklim dan Atmosfer - Badan Riset dan Inovasi Nasional**

Lembaga ini didirikan oleh Presiden Joko Widodo melalui Peraturan Presiden Nomor 74 Tahun 2019 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. Berdasarkan Perpres Nomor 74 Tahun 2019, tugas BRIN adalah menjalankan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi yang terintegrasi. BRIN awalnya menjadi satu kesatuan dengan Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek), Namun dalam perjalannya, Pada 5 Mei 2021, Joko Widodo menandatangani Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021, yang secara efektif menetapkan BRIN sebagai satu-satunya badan penelitian nasional. Peraturan tersebut memutuskan bahwa semua badan penelitian nasional Indonesia seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), dan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) bergabung menjadi BRIN. Posisi BRIN bukan lagi sebagai regulator, karena fungsi regulasi tetap berada di kementerian, BRIN menjadi satu badan tersendiri dengan ada peleburan BATAN, BPPT, LAPAN dan LIPI serta lembaga riset di kementerian dan lembaga. Kini BRIN dipimpin oleh Laksana Tri Handoko yang sebelumnya memimpin LIPI. Integrasi ini berdasarkan Peraturan BRIN No 1/2021 sebagai amanat dari Perpres No 78/2021 tentang BRIN. Struktur BRIN terdiri dari:

1. 10 pejabat tinggi madya
2. 45 pejabat tinggi pratama yang terdiri dari
3. Inspektur, 41 Direktur dan 1 Direktur Politeknik.

Selain itu BRIN juga bertugas melakukan monitoring, pengendalian, dan evaluasi terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. berdasarkan Perpres No 78/2021 tentang BRIN yang ditandatangani Presiden Jokowi pada 24 Agustus 2021, pada pasal 3 BRIN mempunyai tugas membantu Presiden dalam menyelenggarakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan, pengkajian, dan penerapan serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantariksaan secara nasional yang terintegrasi.

### **2.1.1 Rencana Kerja**

Imu pengetahuan, riset, teknologi, dan inovasi berkembang dengan cepat seiring memudarnya sekat-sekat yang menghalangi informasi beredar dan viral. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pun harus terus beradaptasi dengan kondisi kekinian tersebut. BRIN tumbuh menjadi “lembaga riset zaman now” dengan menghadirkan hasil-hasil penelitian yang berkualitas dan bermanfaat nyata bagi masyarakat luas.

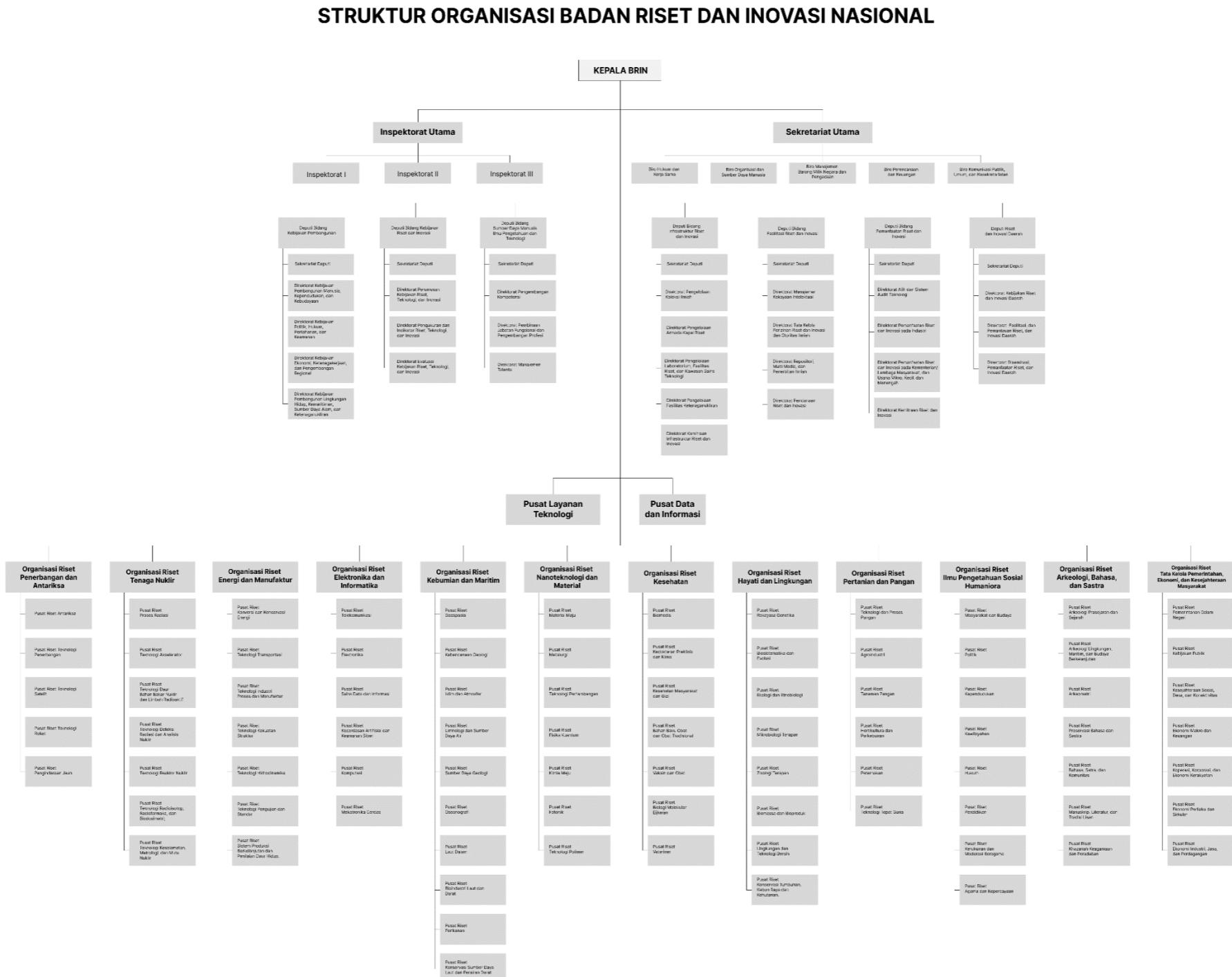
BRIN juga harus siap bekerja keras dalam meningkatkan kualitas penelitian di Indonesia. Sebab, BRIN menjadi rujukan atau referensi dalam pengembangan penelitian di negeri ini. Kita harus dapat menjaga kepercayaan publik untuk menjadi lembaga yang mempunyai marwah demi meningkatkan kualitas riset, teknologi, dan inovasi Indonesia. Kemudian dalam menggapai hasil-hasil penelitian yang berkualitas dan kekinian, BRIN diharapkan mampu berkiprah secara global, tetapi pada saat yang sama harus mampu menjadi penyedia solusi berbasis sains dan teknologi untuk berbagai masalah di masyarakat. Dengan kata lain tugas utama adalah menjadikan BRIN sebagai lembaga riset yang mengglobal dan sekaligus memasyarakat. Untuk mengimplementasikan tugas utama itu, maka BRIN memprioritaskan tiga program utama. Pertama, kami terus melakukan pemberahan manajemen riset agar mengikuti norma dan standar global.

Kedua, mempercepat peningkatan kapasitas dan kompetensi riset melalui peningkatan kualifikasi sumber daya manusia (SDM), melalui perekrutan diaspora secara masif dan berkolaborasi dengan mitra dari dalam dan luar negeri. Dan ketiga, meningkatkan peran BRIN sebagai penyedia infrastruktur (SDM dan perangkat

keras/lunak) riset nasional dan menjadi hub (tempat/wadah) kolaborasi untuk aktifitas kreatif berbasis iptek yang terbuka bagi semua kalangan (akademisi, mahasiswa, dan industri). Tiga program utama tersebut juga merupakan langkah untuk menghadapi era yang semakin canggih. BRIN mendorong infrastruktur riset bisa digunakan oleh semua orang. Tidak hanya periset BRIN saja, tetapi ada interaksi dengan akademisi, kampus, mahasiswa, dan industri yang lebih bagus. Intinya kalau menggunakan teknologi perlu kolaborasi untuk bisa berkompetisi. Lalu, kebaruan riset harus global dan tidak bisa dilakukan sendirian. Riset harus melibatkan banyak pihak agar hasilnya bisa optimal. Dan akhirnya, kami berharap kolaborasi antara para periset BRIN dengan para stakeholders mampu menghasilkan hasil penelitian yang berdampak besar, signifikan, dan nyata, terasa manfaatnya bagi masyarakat. Melalui website BRIN ini, kami berupaya memuat sebagian besar dari hasil-hasil penelitian dari berbagai cabang keilmuan. Kami menampilkannya sebagai bentuk pertanggungjawaban BRIN kepada para pemangku kepentingan, baik kalangan komunitas ilmuwan maupun masyarakat luas.

## 2.1.2 Struktur Organisasi

Struktur Organisasi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



## Gambar 2. 1 Struktur Organisasi Badan Riset dan Inovasi Nasional

(Sumber: Badan Riset dan Inovasi Nasional)

### **2.1.3 Visi dan Misi**

Adapun visi dan misi dari Badan Riset dan Inovasi Nasional adalah :

#### **VISI**

Terwujudnya Badan Riset dan Inovasi Nasional yang andal, profesional, inovatif, dan berintegritas dalam pelayanan kepada Presiden dan Wakil Presiden, untuk mewujudkan Visi dan Misi Presiden: “Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri, dan Berkepribadian berlandaskan Gotong Royong”.

#### **MISI**

1. Memberikan dukungan teknis dan administrasi serta analisis yang cepat, akurat dan responsif, kepada Presiden dan Wakil Presiden dalam menyelenggarakan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantarksaan secara nasional yang terintegrasi serta melakukan monitoring pengendalian dan evaluasi terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA
2. Meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan prasarana riset dan inovasi penyelenggaraan ketenaganukliran, dan keantarksaan secara nasional yang terintegrasi dan pembinaan terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA
3. Menyelenggarakan pelayanan yang efektif dan efisien di bidang pengawasan, administrasi umum, informasi, dan hubungan kelembagaan.

### **2.1.4 Tujuan dan Sasaran**

Tujuan dan saran Badan Riset Inovasi Nasional adalah :

#### **Tujuan**

1. Terwujudnya temuan, terobosan dan pembaharuan ilmu pengetahuan dari hasil penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantarksaan dalam rangka peningkatan produktivitas dan daya saing, peningkatan kualitas lingkungan hidup dan ketahanan bencana, serta iklim (T1)

2. Terwujudnya sumber daya manusia, infrastruktur, fasilitasi dan pemanfaatan riset dan inovasi yang unggul dan kompetitif (T2)
3. Terwujudnya Tata Kelola Pemerintahan di Badan Riset dan Inovasi Nasional yang baik dan bersih (T3)

#### Sasaran

1. Meningkatnya keunggulan riset dan inovasi ilmu pengetahuan dan teknologi, serta dapat dijadikan kebijakan berbasis bukti yang selaras dengan arah pembangunan berkelanjutan (SS1)
2. Meningkatnya kolaborasi dalam pengembangan dan pemanfaatan produk ilmu pengetahuan berdasarkan prioritas pembangunan berkelanjutan (SS2)
3. Meningkatnya produktivitas dan daya saing sumber daya riset dan inovasi BRIN (SS3)
4. Meningkatnya penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mendukung kualitas lingkungan hidup, ketahanan bencana, dan kerentanan iklim (SS4)
5. Tata kelola BRIN yang efektif, efisien dan akuntabel (SS5)

#### **2.1.5 Tugas Pokok dan Fungsi**

Di dalam menjalankan tugas tersebut, BRIN menyelenggarakan fungsi sebagai berikut:

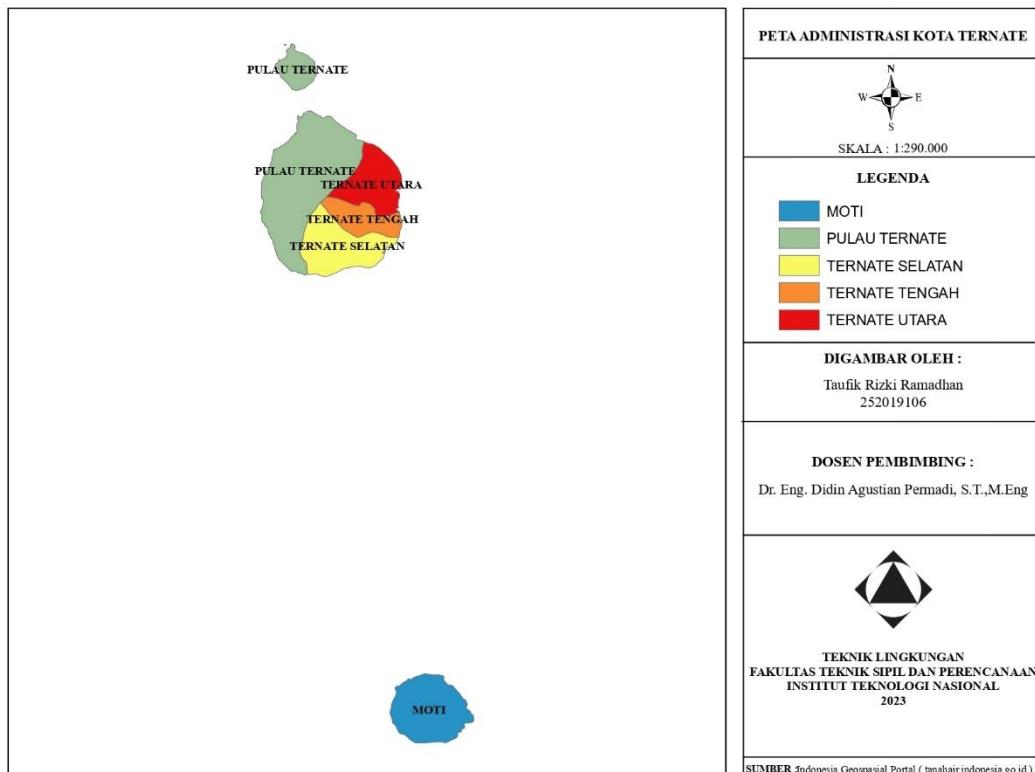
Pelaksanaan pengarahan dan penyinergian dalam penyusunan perencanaan, program, anggaran, dan Sumber Daya Ilmu Pengetahuan dan Teknologi bidang Penelitian, Pengembangan, Pengkajian dan Penerapan.

1. Perumusan dan penetapan kebijakan di bidang standar kualitas lembaga penelitian, sumber daya manusia, sarana dan prasarana riset dan teknologi, penguatan inovasi dan riset serta pengembangan teknologi, penguasaan alih teknologi, penguatan kemampuan audit teknologi, perlindungan Hak Kekayaan Intelektual, percepatan penguasaan, pemanfaatan dan pemajuan riset dan teknologi.

2. Koordinasi penyelenggaraan Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
3. Penyusunan rencana induk ilmu pengetahuan dan teknologi.
4. Fasilitas perlindungan Kekayaan Intelektual dan pemanfaatannya sebagai hasil InvenSI dan Inovasi nasional sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.
5. Penetapan wajib serah dan wajib simpan atas seluruh data primer dan keluaran hasil penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan.
6. Penetapan kualifikasi profesi peneliti, perekayasa, dan sumber daya manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
7. Fasilitasi pertukaran informasi Ilmu Pengetahuan Teknologi antar unsur Kelembagaan Pengetahuan dan Teknologi.
8. Pengelolaan sistem informasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nasional.
9. Pembinaan penyelenggaraan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
10. Perizinan pelaksanaan kegiatan Penelitian, Pengembangan, Pengkajian dan penerapan serta InvenSI dan Inovasi yang berisiko tinggi dan berbahaya dengan memperhatikan standar nasional dan ketentuan yang berlaku secara internasional.
11. Pengawasan terhadap perencanaan dan pelaksanaan Penyelenggaraan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi sesuai dengan rencana induk pemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
12. Koordinasi dan sinkronisasi pelaksanaan kebijakan di bidang kelembagaan, sumber daya, penguatan riset dan pengembangan, serta penguatan inovasi ilmu pengetahuan dan teknologi.
13. Pemberian izin tertulis kegiatan penelitian dan pengembangan oleh perguruan tinggi asing, lembaga penelitian dan pengembangan asing, badan usaha asing, dan orang asing di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.
14. Pemberian izin tertulis kegiatan penelitian dan pengembangan terapan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berisiko tinggi dan berbahaya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

15. Koordinasi pelaksanaan tugas, pembinaan, dan pemberian dukungan administrasi kepada seluruh unsur organisasi di lingkungan BRIN.
16. Pengelolaan barang milik/kekayaan negara yang menjadi tanggung jawab BRIN.
17. Pengawasan atas pelaksanaan tugas di lingkungan BRIN.

## 2.2 Gambaran Umum Kota Ternate



**Gambar 2. 2 Peta Kota Ternate**

(Sumber: *Kota Ternate Dalam Angka 2021*)

Secara astronomis, Kota Ternate terletak diantara  $0^{\circ}025'41,82''$  -  $1^{\circ}021'21,78''$  Lintang Utara dan antara  $126^{\circ}07'32,14''$  -  $127^{\circ}026'23,12''$  Bujur Timur.

Secara geografis Kota Ternate dibatasi oleh:

- Utara: Laut Maluku
- Selatan: Kota Tidore Kepulauan dan Kabupaten Halmahera Selatan
- Timur: Pulau Halmahera
- Barat: Maluku dan Pulau Sulawesi

Luas Kota Ternate adalah 5.709,72 Km<sup>2</sup>, yang terdiri dari daratan 162,17 Km<sup>2</sup> dan lautan 5.547,55 Km<sup>2</sup>. Kota Ternate merupakan kota kepulauan yang terdiri dari 3 pulau besar dan 5 pulau kecil. Ibukota Kota Ternate adalah Ternate Tengah dengan wilayah administratif terdiri dari 8 kecamatan dan 78 kelurahan. Pusat Pemerintahan berada di pulau terbesarnya yakni Pulau Ternate. Pada Pulau Ternate terdapat 5 kecamatan yang berada di sana yakni Pulau Ternate, Ternate Selatan, Ternate Tengah, Ternate Utara, dan Ternate Barat. Tiga kecamatan lainnya berada di luar Pulau Ternate, sehingga jaraknya dengan Ibukota Kota Ternate cukup jauh. Kecamatan terjauh jaraknya yakni Kecamatan Pulau Batang Dua yang berjarak 121,6 km dari pusat kota. Posisinya berada di Pulau Mayau dan Tifure, yang terletak di tengah perairan Laut Maluku.

### **2.2.1 Kondisi Administratif**

Kota Ternate sebelumnya merupakan Kota Administratif yang berada di bawah binaan Daerah Maluku Utara. Kemudian, melalui UndangUndang Nomor 11 Tahun 1999 bersamaan dengan pembentukan Provinsi Maluku Utara Kota Ternate dinaikkan statusnya menjadi Kotamadya. Sejak berdiri dari Kota Administratif hingga meningkat status menjadi Kotamadya, secara administratif Kota Ternate terdiri dari 3 Kecamatan dan 58 Kelurahan. Pada tahun 2001 dimekarkan menjadi 4 kecamatan selanjutnya tahun 2009 dimekarkan kembali menjadi 7 kecamatan. Pada tahun 2018 melalui Peraturan Daerah Kota Ternate Nomor 1 Tahun 2018, Kota Ternate berkembang menjadi 8 kecamatan dengan kecamatan Ternate Barat sebagai kecamatan baru pemekaran dari Kecamatan Pulau Ternate.

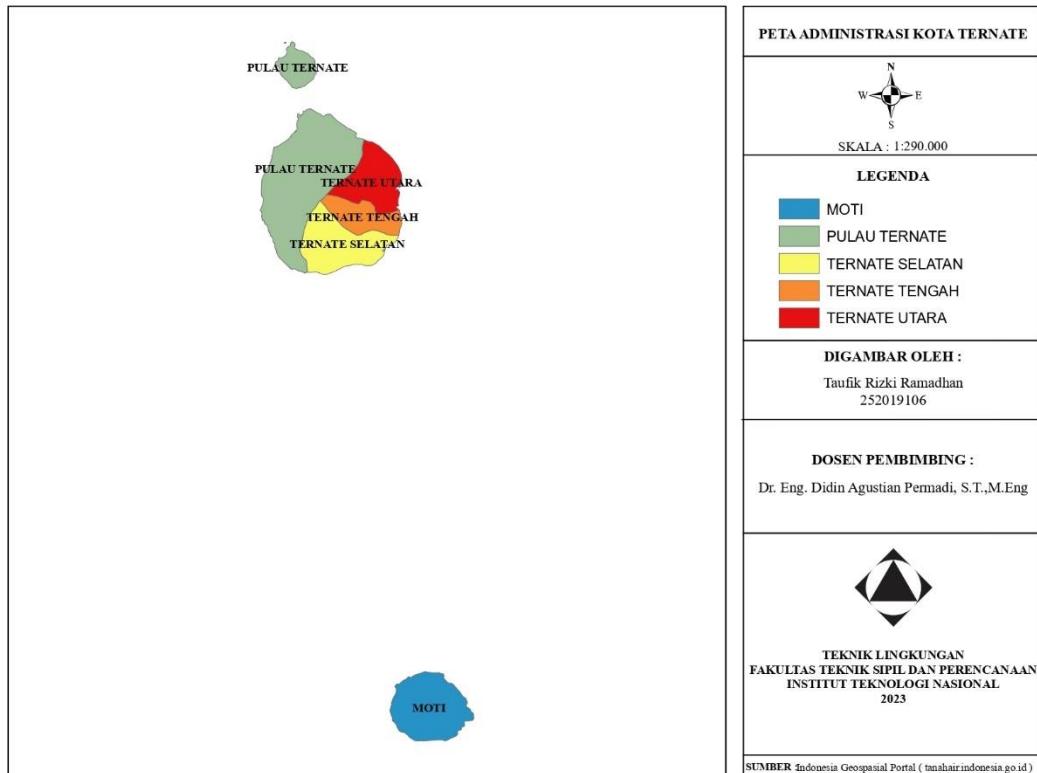
**Tabel 2. 1.Wilayah Admistratif Kota Ternate**

NO	Kecamatan	Ibu Kota Kecamatan	Jumlah Kelurahan
1	Pulau Ternate	Jambula	6
2	Moti	Moti Kota	6
3	Pulau Batang Dua	Mayau	6
4	Pulau Hiri	Faudu	6
5	Ternate Barat	Sulamadaha	7

NO	Kecamatan	Ibu Kota Kecamatan	Jumlah Kelurahan
6	Ternate Selatan	Kalumata	17
7	Ternate Tengah	Salahuddin	16
8	Ternate Utara	Dufa - Dufa	14
Jumlah	Ternate		78

(Sumber: Kota Ternate Dalam Angka 2021)

## 2.2.2 Kondisi Topografi



**Gambar 2. 3. Peta Topografi Kota Ternate**

(Sumber: Kota Ternate Dalam Angka 2021)

Kondisi topografi Kota Ternate adalah berbukit dengan sebuah gunung berapi yang masih aktif dan terletak di tengah pulau. Kondisi yang demikian ditandai dengan tingkat ketinggian dari permukaan laut yang beragam. Namun secara sederhana dikelompokan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu: kemiringan lereng rendah (2%-8%

atau 0–499 mdpl), kemiringan lereng sedang (10%–20% atau 500–699 mdpl) dan kemiringan lereng terjal (>40% atau lebih dari 700 mdpl). Berdasarkan klasifikasi tersebut, daerah ini memiliki kelurahan dengan tingkat ketinggian dari permukaan laut dengan kriteria rendah sebanyak 53 kelurahan berada pada kemiringan lereng rendah yaitu berupa kawasan pesisir, 6 kelurahan berada pada kemiringan lereng sedang dan 4 kelurahan berada pada kemiringan lereng terjal. Sementara untuk kedalaman laut bervariasi, terdapat tingkat kedalaman sekitar 10 meter sampai pada jarak sekitar 100meter dari garis pantai sehingga memberikan peluang untuk diadakannya reklamasi pantai. Jenis tanah dominan adalah tanah Regosol dan Rendzina, yang merupakan ciri tanah pulau vulkanis dan pulau karang.

Kota Ternate dan juga umumnya daerah pantai di Propinsi Maluku Utara memiliki tipe iklim tropis yang dipengaruhi oleh iklim laut yang biasanya heterogen sesuai indikasi umum iklim tropis. Di daerah ini dikenal dua musim yakni utara–barat dan timur–selatan yang seringkali diselingi dengan dua kali masa pancaroba setiap tahunnya.

### **2.2.3 Kondisi Hidrogeologi**

Pemanfaatan sumber daya air adalah prasarana pengembangan sumberdaya air untuk memenuhi berbagai kepentingan. Pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat Kota Ternate diperoleh dari PDAM (Sambungan Rumah dan Hidran Umum), Sumur Gali (SG), Penampung Air Hujan (PAH) dan Mata Air. Sementara Pemanfaatan sumber daya air bersih yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan wilayah Kota Ternate saat ini masih bersumber dari air permukaan dan air tanah melalui sumur dalam dan sumur dangkal yang terdapat di wilayah Kota Ternate.

Kota Ternate memiliki sumber air baku yang dapat dikembangkan untuk kebutuhan air bersih masyarakat. Sumber air baku tersebut meliputi:Danau yang terdapat dikota ternate yaitu danau laguna dan danau Tidore

- Mata air yang terdapat dikota Ternate yaitu mata air Tege-Tege dikelurahan marikurubu, mata air ake ga’ale dikelurahan sangaji ,mata air sentosa dikelurahan salero dan mata air akerica dikelurahan Rua.
- Sumur dalam sebagai sumber air baku untuk air minum

- Sumur dangkal lokasinya tersebar dikawasan pemukiman dan dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber air baku.,

Kota Ternate tidak memiliki Daerah Aliran Sungai (DAS), meskipun secara fisik menyerupai sungai, namun tidak dialiri air terus menerus atau memiliki mata air sehingga dalam istilah local disebut Kali Mati/Barangka. Perbedaannya dengan sungai, barangka/kali mati tidak memiliki komponen mata air dan volume air hanya berasal dari air hujan serta air buangan dari limbah cair rumah tangga.

#### **2.2.4 Kondisi Klimatologi**

Berdasarkan data yang ada, suhu udara rata – rata harian (tahun 2021) berkisar antara 32,5°C – 24,1°C. Kondisi suhu tertinggi hampir merata pada setiap bulannya, saat terjadi musim panas dan penghujan. Suhu terendah terjadi pada bulan July saat terjadi pada mas perlaihan musim.

**Tabel 2. 2.Temperatur dan Kelembapan Udara Kota Ternate**

Bulan	Temperatur		Kelembapan Udara	
	Max	Min	Max	Min
Januari	33,2	23,4	89	77
Februari	32,1	23,2	83	78
Maret	33,6	24	83	78
April	33,5	24,2	94	83
Mei	33,6	24,6	93	75
Juni	31,4	24,9	93	84
July	30,9	24,4	92	63
Agustus	31,3	24,7	91	77
September	31,1	24,4	91	80
Oktober	33,4	23,4	92	77
November	33,2	24	96	78
Desember	32,6	24	89	79
Rata-rata	32,5	24,1	90,5	77,4

(Sumber: Kota Ternate Dalam Angka 2021)

## **2.2.5 Demografi**

Penduduk Kota Ternate berdasarkan Sensus penduduk tahun 2020 sebanyak 205.001 jiwa yang terdiri atas 103.119 jiwa penduduk laki-laki dan 101.882 jiwa penduduk perempuan. Jumlah rasio jenis kelamin Penduduk Kota Ternate pada tahun 2020 adalah 101. Artinya, tiap 100 penduduk perempuan ada sebanyak 101 penduduk laki-l

**Tabel 2. 3.Jumlah Penduduk di Kota Ternate**

No	Penduduk				
	Kelurahan	Laki-Laki	Perempuan	Jumlah	Sex Ratio
1	Pulau Ternate	4440	4295	8735	103,4
2	Moti	2397	2414	4811	99,3
3	Pulau Batang Dua	1434	1357	2791	105,7
4	Pulau Hari	1481	1441	2922	102,8
5	Ternate Barat	4420	4368	8788	101,2
6	Ternate Selatan	37309	37020	74329	100,8
7	Ternate Tengah	26933	24650	53643	101,3
8	Ternate Utara	24645	24337	48982	101,3
Ternate		103,119	101,882	205,001	101,2

(Sumber: *Kota Ternate Dalam Angka 2021*)

## **2.2.6 Kondisi Transportasi**

Jalan merupakan prasarana angkutan darat yang penting untuk memperlancar kegiatan perekonomian. Usaha pembangunan yang makin meningkat menuntut adanya transportasi untuk menunjang mobilitas penduduk dan kelancaran distribusi barang dari dan ke suatu daerah. Panjang jalan di Kota Ternate pada tahun 2020 sepanjang 319,789 km.

Kota Ternate merupakan kota yang padat kendaraan. menurut data UPTD samsat kota ternate, 39.616 kendaraan pribadi dan 1.577 kendaraan dinas milik pemerintah yang terdaftar. kendaraan baru pada tahun 2019 sebanyak 8.553 kendaraan. sebanyak 43 mobil, 1 bus, 35 truk, dan 33.433 motor yang terdaftar pada UPTD

samsat kota ternate. Tuntutan mobilitas tinggi membuat masyarakat ternate cenderung untuk memiliki kendaraan pribadi untuk beraktivitas di kota ternate. Selain kebutuhan kendaraan darat, masyarakat Kota Ternate memiliki ketergantungan dalam penggunaan kendaraan antar pulau. Kota Ternate terbagi dalam 7 pulau, sehingga untuk berpergian menuju pulau yang terdekat dari pulau ternate, masyarakat cenderung menggunakan kapal cepat yang biasa disebut ‘speed’. selain berpergian antar pulau ternate ke pulau hiri dan pulau ternate ke pulau moti, kapal cepat ini juga digunakan untuk berpergian ke pulau tidore, sofifi, jailolo, maupun sebaliknya. jumlah kapal cepat yang terdaftar di dinas perhubungan Kota Ternate sebanyak 97 kapal, menurun sebesar 56% dari tahun sebelumnya.

**Tabel 2. 4.Jumlah Kendaraan Bermotor dan Kendaraan Baru yang Terdaftar di Samsat Kota Ternate 2021**

NO	Jenis Kendaraan	Perorangan		Pemerintahan/Umum	
		Jumlah kendaraan	Jumlah kendaraan Baru	Jumlah kendaraan	Jumlah kendaraan Baru
1	Sedan, Jeep, Station Wagon /Cars	4659	387	995	43
2	Bus, Micro Bus / Buses	7	-	9	1
3	Truck, Pick-Up / Trucks	1486	119	574	35
4	Kendaraan Khusus, Alat Berat dan Besar Special Vehicles	31	1	-	-
5	5 Sepeda Motor / Motorcycles	33433	8046		
Jaumlah		39616	8553	1577	108

(Sumber: UPTD Kota Ternate,2021)

**Tabel 2. 5.Jumlah Angkutan Umum yang Terdaftar di Dinas Perhubungan Kota Ternate**

NO	Tempat Beroperasi	Tahun 2021
1	Mobil Angkutan Kota / Public Transport Car	435
2	Angkutan Umum Bandara / Airport Cabs	79
	Jumlah	514

(Sumber: Dinas Perhubungan Kota Ternate,2021)

**Tabel 2. 6.Jumlah Kapal Cepat yang Terdaftar di Dinas Perhubungan 2021**

NO	Tempat Beroperasi	Tahun 2021
1	Pelabuhan Kota Baru	22
2	Pelabuhan Gamalama	51
3	Pelabuhan Dufa-dufa	24
	Jumlah	97

(Sumber: Dinas Perhubungan Kota Ternate,2021)

## 2.2.7 Kondisi Industri

Usaha Kecil dan Menengah (UKM) yang tercatat pada Dinas Koperasi dan Usaha Kecil dan Menengah Kota Ternate selama 2019 sebanyak 13.765unit dengan 21.723 orang tenaga kerja. UKM Perdagangan merupakan UKM yang paling banyak di Ternate, yakni sebanyak 9.058 unit.

## **BAB III**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1 Udara**

Udara merupakan campuran banyak komponen yang terdiri dari gas, partikel padat, partikel cair, energi, ions, zat organik yang terdistribusi acak dan bebas mengikuti volume bentuk ruang. Komposisi udara sangat fluktuatif dinamis, daerah komposisi udara di dataran tinggi berbeda dengan dataran rendah, daerah pada khatulistiwa berbeda dengan daerah kutub, daerah banyak vegetasi berbeda dengan daerah industri, daerah rural berbeda dengan daerah urban. Secara umum komposisi udara kering dan bersih pada homosfera antara lain nitrogen, oksigen, argon, karbondioksida, neon, helium, methan, kripton, nitrous oksida, hidrogen, xenon, ozon (Cahyono, 2017).

Udara adalah atmosfer yang ada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting untuk kehidupan di muka bumi ini, dalam udara terdapat oksigen ( $O_2$ ) untuk bernafas, karbon dioksida ( $CO_2$ ) untuk proses fotosintesis oleh khlorofil daun, dan ozon ( $O_3$ ) untuk menahan sinar ultraviolet dari matahari. Komposisi udara terutama uap air ( $H_2O$ ) sangat dipengaruhi oleh keadaan suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Komposisi udara bersih dan kering, pada umumnya yaitu Nitrogen ( $N_2$ ) = 78,09 %, Oksigen ( $O_2$ ) = 20,94 %, 31 Argon ( $Ar$ ) = 0,93 %, dan Karbon dioksida ( $CO_2$ ) = 0,032 % (Khairiah dkk, 2012).

Udara adalah campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komponen yang konsentrasi paling bervariasi yaitu uap air dan  $CO_2$ . Kegiatan yang berpotensi menaikkan konsentrasi  $CO_2$  seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran atau sekumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena proses pernapasan (Karunia, 2019).

### **3.2 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau yang dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi, dan material. Pengertian lain dari pencemaran udara adalah terdapat bahan kontaminan di atmosfer karena ulah manusia (man mader). Selain, itu pencemaran udara dapat pula dikatakan sebagai 33 perubahan atmosfer karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut (Mukono, 2011).

Pencemaran udara adalah suatu kondisi dimana kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang membahayakan kesehatan tubuh manusia. Pencemaran udara biasanya terjadi di kota-kota besar dan juga daerah padat industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat di atas batas kewajaran (Oktora, 2008).

Menurut Soedomo (dalam Cahyono, 2016), Pencemaran udara adalah masuknya zat pencemar ke dalam udara dalam jumlah yang berlebihan sehingga menyebabkan kualitas udara menurun. Penurunan kualitas udara disebabkan dapat terjadi secara alami dan dari kegiatan manusia. Pencemaran udara secara alami contohnya adalah asap kebakaran hutan, abu vulkanik gunung berapi, dan pancaran garam dari air laut. Pencemaran udara yang disebabkan oleh manusia contohnya adalah kegiatan transportasi, industri, dan pembakaran sampah dari kegiatan rumah tangga (Pohan, 2002).

Menurut Canter (dalam Winata, 2020) Pencemaran udara adalah hadirnya zat pencemar secara berlebihan di dalam atmosfir dan zat pencemar tersebut tinggal di atmosfir dalam jangka waktu yang lama, sehingga menyebabkan dampak yang merugikan bagi manusia, hewan, tumbuhan dan materialmaterial lain serta menyebabkan ketidaknyamanan bagi manusia dalam menjalankan aktifitasnya.

Menurut Mandra (dalam Romansyah, 2019), udara yang masih bersih terdiri dari campuran berbagai gas dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Gas-gas tersebut diantaranya adalah Nitrogen dalam bentuk N<sub>2</sub> sebanyak 78 %, oksigen dalam bentuk O<sub>2</sub> sebanyak 21 % sementara argon (Ar) hanya 1 % dari total gas. Gas-gas

karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), helium (He), neon (Ne), xenon (Xe) dan kripton (Kr) masingmasing hanya terdapat sebanyak 0,01 % dari total gas. Selain itu ada beberapa jenis gas dalam jumlah yang sedikit seperti Metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon monoksida (CO), amoniak ( $\text{NH}_3$ ), dinitrogen monoksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Dalam jumlah yang besar gas-gas tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara menurut asalnya, terdiri dari:

a. Pencemaran Udara

Pencemaran udara alami yaitu masuknya zat pencemar ke dalam udara / atmosfer, akibat proses - proses alam seperti asap 36 kebakaran hutan, debu gunung berapi, pancaran garam dari laut, debu meteroid dan sebagainya (Adita C dan Ratni J.A.R, 2013).

Masuknya zat pencemar ke dalam udara yang disebabkan oleh aktifitas manusia seperti gas beracun, asap dari hasil industry, asap kendaraan bermotor maupun, asap rokok yang mengandung karbon monoksida (CO), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sulfur oksida ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen oksigen ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NOx}$ ), CFC, dan sebagainya. Salah satu senyawa berbahaya yang dihasilkan adalah karbon monoksida (CO). (Ismiyati, Marlita dan Saidah, 2014).

### **3.3 Sumber Pencemar Udara**

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami (natural) dan kegiatan antropogenik. Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik), secara kuantitatif sering lebih besar. Untuk kategori ini sumbersumber pencemar dibagi dalam pencemaran akibat aktivitas transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran, dan rumah tangga. Kegiatan rumah tangga mengemisikan pencemar udara yaitu dari proses pembakaran untuk keperluan pengolahan makanan. Menurut Soedomo (dalam Ratnani, 2008), parameter udara yang diemisikan ke atmosfer juga identik dengan parameter-parameter yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor. Parameter yang dimaksud yaitu CO, NOx, 37 partikulat, dan Sox, kecuali senyawa tambahan di dalam bahan bakar seperti Pb.

Pencemaran udara terbagi menjadi dua golongan, yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah zat pencemar yang timbul secara langsung dari sumber pencemaran udara, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ialah contoh dari pencemar primer sebab hasil dari pembakaran, sedangkan pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk karena reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer (Siburian, 2020).

Sumber bahan pencemar udara primer dapat dibagi lagi menjadi dua golongan besar, yaitu (Siburian, 2020):

a. Sumber Alamiah (*Natural Sources*)

Beberapa kegiatan alam yang bisa menyebabkan pencemaran udara adalah aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, kegiatan mikroorganisme, dan lain-lain. Bahan pencemar yang dihasilkan umumnya adalah asap, gas-gas, dan debu.

b. Sumber Buatan Manusia (*Anthropogenic Sources*)

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan-bahan pencemar di antaranya adalah pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, industri, kendaraan bermotor, dan lain-lain. Bahan-bahan pencemar yang dihasilkan antara lain asap, debu, grit (pasir halus), dan gas (CO dan NO).

### 3.4 Jenis-Jenis Pencemaran Udara

Menurut Prabowo & Muslim (2018) serta Siburian (2020), terdapat beberapa bahan pencemar udara yang sering ditemukan di kota-kota. Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar dapat berupa:

- a. Partikulat (PM)
- b. Karbon Monoksida (CO)
- c. Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>)
- d. Nitrogen Dioksida (NO<sub>x</sub>)
- e. Oksida Fotokimia
- f. Hidrokarbon (HC)
- g. Ozon (O<sub>3</sub>)
- h. Senyawa Anorganik (H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>)

1. Votatite Organic Compounds (VOC) yakni bahan bahan yang mudah menguap

### **3.5 Pengendalian Pencemaran Udara**

Pengendalian pencemaran udara adalah kegiatan yang berupaya mengembalikan baku mutu udara sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan. Upaya pengendalian pencemaran udara dilakukan untuk melestarikan kondisi lingkungan serta mencegah kerusakan lingkungan yang semakin parah (Nurwita et al., 2021).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, pengendalian pencemaran udara adalah upaya pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara serta pemulihian mutu udara. Ruang lingkup pengendalian pencemaran udara adalah sebagai berikut:

1. Penetapan baku mutu udara ambien
2. Penetapan status mutu udara ambien daerah
3. Penetapan baku mutu emisi, baku mutu emisi gas buang, dan baku mutu gangguan
4. Pelaksanaan koordinasi operasional pengendalian pencemaran udara
5. Koordinasi dan pelaksanaan pemantauan kualitas udara

### **3.6 Faktor Pencemaran Udara**

Faktor Pencemaran udara terdiri dari beberapa hal yaitu:

- a. Suhu

Suhu adalah derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu dengan menggunakan termometer. Menurut Atmaja (dalam Kartasapoetra, 2012), suhu permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain jumlah radiasi matahari yang diterima, pengaruh daratan atau lautan, pengaruh ketinggian tempat, pengaruh angin secara tidak langsung, pengaruh panas laten, penutup tanah, tipe tanah dan pengaruh sudut pandang datang sinar matahari.

- b. Kelembapan

Menurut Atmaja (dalam Kartasapoetra, 2012), kelembaban adalah banyaknya uap air yang ada di udara. Keadaan kelembaban di permukaan bumi memiliki

perbedaan. Daerah yang berada di khatulistiwa memiliki kelembaban yang tinggi, sedangkan kelembaban terendah berada pada lintang 40°.

Sedangkan menurut Tjasyono (dalam Riani, 2017), kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam massa udara pada waktu dan tempat tertentu. Hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi pencemar di udara ambien yaitu jika kelembaban udara tinggi dapat menyebabkan dispersi udara menjadi lambat karena banyaknya uap air di udara akan memperlambat aliran udara baik secara horizontal maupun vertikal sehingga konsentrasi polutan menjadi tinggi.

#### c. Angin

Menurut Atmaja (dalam Kartasapoetra, 2012), angin merupakan gerakan atau perpindahan massa udara dari suatu tempat ke tempat lain secara horizontal. Massa udara adalah udara dalam ukuran yang sangat besar yang mempunyai sifat fisik yang seragam dalam arah yang horizontal. Sifat massa udara ditentukan oleh daerah di mana massa udara terjadi, jalan yang dilalui oleh massa udara, dan umur dari massa udara itu. Gerakan angin berasal dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Terdapat banyak jenis-jenis angin seperti angin darat, angin laut, angin gunung, angin lembah dan angin lokal (Fohn) yang sifatnya kering. Angin lokal ini biasanya tidak begitu baik bagi tanaman karena sifatnya yang kering sehingga menyebabkan besarnya evaporasi dan trasnspirasi yang akan dilakukan oleh tanaman. Kadang-kadang hal ini akan menyebabkan tanaman menjadi layu karena tanaman tersebut tidak dapat mengimbangi jumlah air yang hilang dengan pengambilan air dari dalam tanah.

#### d. Hujan

Menurut Atmaja (dalam Kartasapoetra, 2012), hujan adalah sebuah presipitasi berwujud cairan, berbeda dengan presipitasi noncair seperti salju, batu es dan slit. Hujan memerlukan keberadaan 39 lapisan atmosfer tebal agar dapat menemui suhu di atas titik leleh es di dekat dan di atas permukaan bumi. Hujan adalah proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butir air yang cukup berat untuk jatuh dan biasanya tiba di daratan. Dua proses yang

mungkin terjadi bersamaan dapat mendorong udara semakin jenuh menjelang hujan, yaitu pendinginan udara atau penambahan uap air ke udara

e. Topografi

Menurut M. Suparno dan Marlina Endy (dalam Roni, 2018), topografi adalah keadaan yang menggambarkan kemiringan lahan, atau kontur lahan, semakin besar kontur lahan berarti lahan tersebut memiliki kemiringan lereng yang semakin besar. Pengertian Topografi adalah studi tentang bentuk permukaan bumi dan objek lain seperti planet, satelit alami (bulan dan sebagainya), dan asteroid. Dalam pengertian yang lebih luas, topografi tidak hanya mengenai bentuk permukaan saja, tetapi juga vegetasi dan pengaruh manusia terhadap lingkungan, dan bahkan kebudayaan lokal (Ilmu Pengetahuan Sosial). Topografi umumnya menyuguhkan relief permukaan, model tigadimensi, dan identifikasi jenis lahan. Penggunaan kata topografi dimulai sejak zaman Yunani kuno dan berlanjut hingga Romawi kuno, sebagai detail dari suatu tempat. Kata itu datang dari kata Yunani, topos yang berarti tempat, dan graphia yang berarti tulisan. Objek dari topografi adalah mengenai posisi suatu bagian dan secara umum menunjuk pada koordinat 40 secara horizontal seperti garis lintang dan garis bujur, dan secara vertikal yaitu ketinggian.

### **3.7 Kualitas Udara**

Kualitas udara di sebuah kota merupakan gambaran dari kondisi udara di kota tersebut yang memadai untuk dihuni oleh manusia(Oktora, 2008). Pengertian kualitas udara di suatu kota yang memadai menurut standard tersebut adalah udara tidak ada kontaminan pada konsentrasi yang membahayakan yang tentunya sudah ditetapkan oleh para ahli.

a. Parameter Fisika

1. Suhu

Menurut Hidayati (dalam Indarwati, Respati dan Darmanto, 2019), suhu adalah besaran yang menyatakan derajat dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat untuk mengukur suhu cenderung menggunakan

indera peraba. Tetapi dengan adanya perkembangan teknologi maka diciptakanlah termometer untuk mengukur suhu dengan valid.

## 2. Kelembapan

Menurut Lagiyono (dalam Indarwati, Respati dan Darmanto, 2019), kelembaban merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. tingkat kejemuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Jika tekanan uap parsial sama dengan tekanan uap air yang jenuh maka akan terjadi 41 pemandatan. Secara sistematis kelembaban relative (RH) didefinisikan sebagai persentase perbandingan antara tekanan uap air parsial dengan tekanan uap air jenuh.

## 3. Pencahayaan

Cahaya merupakan satu bagian dari berbagai jenis gelombang elektromagnetis yang terbang ke angkasa. Gelombang tersebut memiliki panjang dan frekuensi tertentu, yang nilainya dibedakan dari energi cahaya lainnya dalam spektrum elektromagnetinya. Sumber pencahayaan terdiri atas pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Pencahayaan alami adalah sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Sinar alami mempunyai energi listrik dan dapat membunuh kuman. Suatu ruangan diperlukan jendela-jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang-kurangnya 1/6 daripada luas lantai untuk mendapatkan pencahayaan alami (Amin, 2011).

## 4. Kebisingan

Menurut Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia (dalam Zuhra, 2019), kebisingan merupakan semua bunyi yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat proses produksi dan atau alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Kebisingan menjadi salah satu potensi bahaya dari faktor fisik di lingkungan kerja yang kemungkinan terjadi akibat adanya proses produksi dan alat kerja. Kebisingan seringkali ditemukan pada industri manufaktur.

## 5. Partikulat Debu

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter / SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara, baik dalam maupun di ruang gedung (*Indoor and Out Door Pollution*) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menggunakan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (Pradika, 2011).

b. Parameter Kimia

1. *Particulate Matter*

Menurut Rochimawati (dalam Prilila, Wardhana dan Sutrisno, 2016), Particulate Matter merupakan partikel udara yang berukuran kecil seperti debu, asap, dan uap dengan diameter kurang dari 100 mikrometer. Particulate Matter dapat berasal dari beberapa sumber. Diantaranya yaitu pembangkit tenaga listrik, insinerator, kendaraan dan aktivitas kontruksi.

2. Sulfur Dioksida

Sulfur Dioksida merupakan pencemar dari sumber industri yang berperan sebagai prekursor asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) komponen partikel aerosol yang mempengaruhi deposisi asam, iklim global, dan lapisan ozon global (Cahyono, 2011). Menurut Jacobson (dalam Cahyono, 2011), sumber utama dari sulfur dioksida yaitu pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi. Sumber sulfur dioksida kedua berasal dari proses-proses industri seperti pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri peleburan baja dan sebagainya.

3. Karbon Monoksida

Menurut Wardhana (dalam Yulianti, 2014) Karbon Monoksida dapat berbentuk cairan pada suhu dibawah-192°C. 44 Karbon monoksida sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara, berupa gas buangan. Perkiraan presentase pencemar udara tersbesar dari sumber transportasi di Indonesia adalah pada gas karbon monoksida yaitu sebesar 70,50%.

#### 4. Ozon

Ozon dikenal sebagai pelindung bumi dari sinar ultraviolet matahari. Lapisan ozon terdapat pada stratosfer. Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF<sub>2</sub>). Meskipun di alam terdapat dalam jumlah kecil tetapi lapisan lain dengan bahan pencemar udara Ozon sangat berguna untuk melindungi bumi dari radiasi ultraviolet (UV-B). Ozon terbentuk di udara pada ketinggian 30 km dimana radiasi UV matahari dengan panjang gelombang 242 nm secara perlahan memecah molekul oksigen (O<sub>2</sub>) menjadi atom oksigen tergantung dari jumlah molekul O<sub>2</sub> atom-atom oksigen secara cepat membentuk ozon. Ozon menyerap radiasi sinar matahari dengan kuat didaerah panjang gelombang 240-320 nm (Siburian, Saidal, M.M, 2020).

#### 5. Nitrogen Dioksida

Menurut Slamet (dalam Riwanto dan Sani, 2017), Nitrogen Dioksida merupakan gas beracun yang berwarna coklat kemerah-merahan dan berbau sangat menyengat seperti asam 45 nitrat. Jenis Nitrogen Oksida yang sering didapat di dalam atmosfir adalah NO, NO<sub>2</sub>, ataupun N<sub>2</sub>O adalah zat yang tidak pernah ada di dalam udara yang bersih. Gas NO dalam konsentrasi tinggi dapat bereaksi dengan Hb dan memiliki sifat yang sama dengan CO, yaitu menghalangi fungsi normal Hb dalam darah, dan dapat menyebabkan iritasi mata serta gangguan pernafasan. Sedangkan pengaruh NO terhadap lingkungan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan udara di luar terlihat kecoklatan (brown air cities). Hal ini akan memicu terbentuknya senyawa photochemical smog, ketika NO<sub>2</sub> bereaksi dengan panas matahari dan hidrokarbon.

#### c. Parameter Biologi

##### 1. Jamur

Jamur merupakan organisme yang mempunyai inti sel, dapat membentuk spora, tidak berklorofil, terdapat benang – benang tunggal atau benang – benang yang bercabang dengan dinding selulosa atau khitin. Jamur

termasuk kedalam golongan fungi. Jamur hidup diantara jasad hidup (biotik) atau mati (abiotik), dengan sifat hidup heterotroph (organisme yang hidupnya tergantung dari organisme lain) dan saprofit (organisme yang hidup pada zat organik yang tidak diperlukan lagi atau sampah (UNIMUS, 2017).

## 2. Bakteri Pantogen

Bakteri merupakan mikroba prokariotik yang uniseluler dan berkembangbiak dengan cara seksual dengan pembalahan sel. Bakteri tidak berklorofil namun ada yang bersifat fotosintetik, kemudian bakteri hidup secara bebas, parasit saprofit sebagai patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan. Selain itu, bakteri merupakan struktur sel yang tidak mempunyai membran inti sedangkan komponen genetiknya terdapat di dalam molekul DNA tunggal yang terdapat di dalam sitoplasma (Riskawati, 2016).

## 3. Angka Kuman

Angka Kuman merupakan angka kuman di udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara suatu tempat atau ruangan. Sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1204/MEKES/SK/X/2004 tentang persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit, standar baku mutu untuk angka kuman yakni 200-500 CFU/m<sup>3</sup>. Hal ini ditetapkan sebagai pengendalian faktor lingkungan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya penularan penyakit yang sering disebut sebagai infeksi nosokomial (Williams, 2016).

## **3.8 Particulate Matter 2,5 (PM<sub>2,5</sub>)**

Particulate Matter 2,5 adalah partikel dengan diameter aerodinamik lebih kecil dari 2,5 $\mu\text{m}$ . Semakin kecil ukuran diameter partikel debu akan semakin berbahaya karena dapat terhirup dan masuk ke dalam saluran pernapasan bagian bronkiale dan alveoli yang merupakan tempat pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida di dalam paru. Debu partikulat adalah satu dari enam polutan paling berbahaya yaitu karbon monoksida, timbal, nitrogen dioksida, ozone sulfur dioksida, dan particulate matter (PM/debu partikulat). Debu umumnya berasal dari gabungan secara mekanik

dan material yang berukuran kasar yang melayang di udara dan bersifat toksik bagi manusia.

PM<sub>2,5</sub> merupakan debu partikulat yang memiliki diameter aerodinamik 2,5  $\mu\text{m}$  yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling PM<sub>2,5</sub>. EPA membedakan PM<sub>2,5</sub> dengan fine dan coarse particle. Komposisi pembentuk PM<sub>2,5</sub> terdiri dari sulfat, nitrat, organic compounds, ammonium compounds, metal, acidic material, dan bahan kontaminan lain yang dipercaya dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan. (Anisa dan Keman,2013).

Sumber pencemaran dapat berasal dari kegiatan yang bersifat alami (natural) seperti letusan gunung berapi, dekomposisi biotik dan lain-lain, serta kegiatan antropogenik seperti berasal dari kegiatan transportasi, industri dan lain-lain, secara kuantitatif sumber antropogenik merupakan sumber yang menghasilkan polutan lebih besar (Soedomo, 2001). Sumber antropogenik dibagi menjadi dua jenis yaitu sumber bergerak dan tidak bergerak, berdasarkan pola emisi sumber polutan terbagi tiga, yaitu sumber titik (cerobong industri), sumber garis (kendaraan bermotor) dan sumber area (kawasan industri) (Soedomo, 2001). Selain dua hal tersebut sumber polutan dapat digolongkan kembali menjadi dua jenis yang dilihat berdasarkan pergerakannya, yaitu sumber diam (stationary) seperti cerobong, serta sumber bergerak (mobile) seperti kendaraan bermotor. (Soedomo, 2001).

### **3.9 Materi Partikulat**

Materi partikulat (PM) didefinisikan sebagai partikel mikroskopis dan submikroskopik (padat atau cair) yang ada di atmosfer. Partikulat dengan diameter aerodinamis kurang dari 2,5 mm disebut PM halus atau PM<sub>2,5</sub>, partikel dengan diameter aerodinamis kurang dari 10 mm disebut PM10, dan partikel dengan diameter aerodinamis antara 2,5 dan 10 mm disebut partikel kasar. Spesies PM utama yang secara rutin diukur dan disimulasikan menggunakan model berbasis emisi adalah sulfat (SO<sub>4</sub> 2-), nitrat (NO<sub>3</sub>), amonium (NH<sub>4</sub> +), karbon organik (OC), unsur karbon (EC), tanah, dan massa kasar (CM). Selain itu, jejak logam sering dipantau, meski sering tidak disimulasikan secara individual menggunakan model kualitas udara tiga dimensi. Sebagian besar sulfat dan nitrat terbentuk di atmosfer melalui oksidasi masing-masing sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).

Amonium terbentuk ketika gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) bereaksi dengan partikel atau gas asam (misalnya sulfat atau nitrat). Karbon organik dapat dipancarkan secara langsung atau dibentuk di atmosfer melalui oksidasi senyawa organik yang mudah menguap (VOC). Unsur karbon dipancarkan langsung ke atmosfer melalui proses pembakaran dan diperlakukan sebagai spesies inert (yaitu, non-reaktif) oleh sebagian besar model. Tanah, atau bahan kerak, juga diperlakukan sebagai senyawa lembam dan terdiri dari oksida logam dari debu yang tertipup angin, debu jalan, kegiatan industri, dan kegiatan pertanian. (Boylan dan Russell, 2006).

### **3.10 Evaluasi Kinerja Model**

Evaluasi kinerja model dalam suatu studi kasus yang akan disajikan dilakukan dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif untuk model meteorologi terutama berfokus pada konsistensi antara medan angin dan medan tekanan serta variasi temporal suhu dan angin selama periode simulasi. Dengan hadirnya simulasi komputasi banyak model yang dapat dapat di evaluasi berdasarkan waktu yang lama, tentunya akan membantu untuk mengkaji kinerja secara yang lebih menyeluruh.

Kinerja sistem pemodelan yang berbeda dievaluasi berdasarkan simulasi yang dipilih dengan melihat episode sejarah ozon dan Pm. Pemilihan episode sejarah yang representatif untuk evaluasi model merupakan langkah penting yang harus dilakukan dengan baik.

Berikut adalah kriteria digunakan dalam studi kasus ozon:

- Area dimana konsentrasi ozon per jam melebihi ambang batas (biasanya 100ppd, yang merupakan ozon ambien umum perjam standart di banyak negara) di seluruh domain yang dipilih seharusnya sebesar mungkin.
- Konsentrasi ozon perjam yang tinggi di beberapa stasiun didomain harus diamati minimal 2 jam selama 1 hari dan minimal 2 jam hari-hari yang berkelanjutan.
- Kondisi meteorologi episode harus representatif dan terjadi dengan frekuensi tinggi dalam domain

Evaluasi kuantitatif model asap fotokimia (untuk ozon) dilakukan mengikuti garis panduan USEPA (Badan Perlindungan Lingkungan AS) (USEPA, 1991) dan untuk

parameter meteorologi mengikuti nilai yang diusulkan oleh Emery et al. (2001), yang dirangkum dalam **Tabel 3.1**. Dalam evaluasi kinerja model, hasil simulasi lapisan pertama(terendah) dibandingkan dengan data pengukuran yang tersedia yang dikumpulkan dari stasiun pemantauan kualitas udara. Statistik kinerja yang digunakan untuk mengevaluasi ozon, simulasi termasuk mean normalized bias error (MNBE), mean nor malized gross error (MNGE), dan akurasi prediksi puncak tidak berpasangan (UPA) Untuk parameter meteorologi, ukuran statistik yang digunakan adalah bias rata-rata (MB), mean absolute gross error (MAGE), root mean-squared error (RMSE) dan index of agreement (IOA). MNGE dan MNBE digunakan untuk evaluasi kinerja model ozon, dengan mempertimbangkan nilai cutoff (minimum) dari ambang pengamatan (misalnya, 60 ppb) (Boylan dan Russell, 2006). Tidak termasuk O<sub>2</sub> rendah, konsentrasi dari statistik kinerja dapat diterima karena NAAQS untuk O<sub>2</sub>, diarahkan pada konsentrasi puncak. Berarti absolut Root mean-sq Indeks persetujuan Tidak seperti ozon, kriteria kinerja model, yang telah mapan selama beberapa dekade (USEPA, 1991), kriteria PM belum tersedia. Simulasi PM terdiri dari banyak komponen PM, dan peraturan PM (NAAQS) berkaitan dengan t rata-rata 24 jam atau tahunan daripada konsentrasi per jam. Oleh karena itu sulit untuk menetapkan ambang minimum untuk evaluasi kinerja model. Biasanya, nilai MNGE dan MNBE yang sangat besar dapat diperoleh ketika level yang diamati mendekati nol. Bias fraksional rata-rata (MFB) dan kesalahan fraksional rata-rata (MFE) telah disarankan untuk evaluasi hasil simulasi PM (Boylan dan Russell, 2006). **Tabel 3.1** menyajikan "tujuan" kinerja PM (tingkat akurasi yang dianggap mendekati yang terbaik yang diharapkan dapat dicapai oleh sebuah model dalam aplikasi tersebut) dan "kriteria" kinerja PM (tingkat akurasi yang dianggap dapat diterima untuk aplikasi pemodelan standart. (Oanh, 2012)

**Tabel 3. 1.Kriteria Saran Model Performance Evaluation**

PARAMETER	Formula	Kriteria Saran
Mean Bias (MB)	$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)$	WS: $\leq \pm 0.5 \text{ m/s}$
		WD: $\leq \pm 10 \text{ deg}$
		T: $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$
		RH: $\leq \pm 1 \text{ g/kg}$
Mean Normalized Gross Error (MNGE)	$MNGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{ M_i - O_i }{O_i} \times 100$	ozone: $\leq 35\%$
Unpaired Peak Accuracy (UPA)	$UPA = \frac{M_{max} - O_{max}}{O_{max}} \times 100$	ozone: $\leq 25\%$
Mean Absolute Gross Error (MAGE)	$MAGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n  M_i - O_i $	WD: $\leq \pm 30^\circ$
		T: $\leq \pm 2^\circ\text{C}$
Root Mean-Square Error (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (M_i - O_i)^2}$	RH: $\leq \pm 2 \text{ g/kg}$
		WS: $\leq \pm 2 \text{ m/s}$
		WD: $\geq + 0.6$
Index Of Agreement (IOA)	$IOA = 1 - \left[ \frac{\frac{N \times RMSE^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - O_i^+) + (O_i - O_i^-)^2}}{\sum_{i=1}^n (M_i - O_i^+) + (O_i - O_i^-)^2} \right]$	T: $\geq + 0.8$
		RH: $\geq + 0.6$

PARAMETER	Formula	Kriteria Saran
Mean Normalized Bias Error (MNBE)	$MNBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{ M_i - O_i }{O_i}$	ozone: $\leq 15\%$
Mean Fractional Bias (MFB)	$MFB = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(M_i - O_i)}{(M_i + O_i)} \right] \times 100$	PM: $\leq \pm 30\%$ (Goal)
		PM: $\leq \pm 60\%$ (Kriteria)
Mean Fractional Error (MFE)	$MFE = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{ M_i - O_i }{(M_i + O_i)} \right) \times 100$	PM: $\leq \pm 50\%$ (Goal)
		PM: $\leq \pm 75\%$ (Kriteria)

(Sumber; Emery et al.2001, USEPA 1991, Boylan and Russell 2006)

### 3.11 Evaluasi Model Ozon

Kinerja sistem pemodelan yang berbeda dievaluasi berdasarkan simulasi yang dipilih dengan melihat episode sejarah ozon dan Pm. Pemilihan episode sejarah yang representatif untuk evaluasi model merupakan langkah penting yang harus dilakukan dengan baik.

Berikut adalah kriteria digunakan dalam studi kasus ozon:

- Area dimana konsentrasi ozon per jam melebihi ambang batas (biasanya 100ppd, yang merupakan ozon ambien umum perjam standart di banyak negara) di seluruh domain yang dipilih seharusnya sebesar mungkin.
- Konsentrasi ozon perjam yang tinggi di beberapa stasiun didomain harus diamati minimal 2 jam selama 1 hari dan minimal 2 jam hari-hari yang berkelanjutan.
- Kondisi meteorologi episode harus representatif dan terjadi dengan frekuensi tinggi dalam domain (Oanh, 2012).

### **3.12 Mean Normalized Gross Error**

MNGE digunakan untuk evaluasi kinerja model ozon, dengan mempertimbangkan nilai cutoff (minimum) dari ambang pengamatan (misalnya, 60 ppb) (Boylan dan Russell, 2006). Berikut adalah rumus MNGE:

$$\text{MNGE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - O_i|}{O_i} \times 100$$

Keterangan:

N = Jumlah Data

M = Data Peramalan/WRF-Chem

O = Data Observasi

### **3.13 Mean Normalized Bias Error**

MNBE digunakan untuk evaluasi kinerja model ozon, dengan mempertimbangkan nilai cutoff (minimum) dari ambang pengamatan (misalnya, 60 ppb) (Boylan dan Russell, 2006). Berikut adalah rumus MNBE:

$$\text{MNBE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{M_i - O_i}{O_i}$$

Keterangan:

N = Jumlah Data

M = Data Peramalan/WRF-Chem

O = Data Observasi

### **3.14 Unpaired Peak Accuracy**

UPA adalah akurasi prediksi puncak tidak berpasangan yang digunakan untuk menganalisis episode ozon historis menggunakan model kisi fotokimia (USEPA,1991). Berikut adalah rumus UPA:

$$\text{UPA} = \frac{M_{max} - O_{max}}{O_{max}} \times 100$$

Keterangan:

M<sub>max</sub> = Data max Peramalan/WRF-Chem

O<sub>max</sub> = Data max Observasi

### **3.15 Evaluasi Model Pm**

Pemodelan kualitas udara dan pengukuran ambien adalah dua cara berbeda untuk memperkirakan konsentrasi polutan ambien aktual di atmosfer. Baik pemodelan maupun pengukuran memiliki tingkat ketidakpastian yang terkait dengan perkiraannya. Ketidakpastian yang terkait dengan sistem pemodelan atmosfer tiga dimensi sangat sulit untuk diukur. Ketidakpastian yang terkait dengan tingkat emisi saja masih diselidiki dari berbagai sumber, termasuk beberapa sumber yang paling penting. (Boylan dan Russell, 2006).

### **3.16 Mean Fractional Bias and Error**

Mean fractional bias (MFB) dan mean fractional error (MFE) menormalkan bias dan error untuk setiap pasangan model yang diamati dengan rata-rata model dan observasi sebelum mengambil rata-rata. Karena MFB berkisar dari 200% hingga +200% dan MFE berkisar dari 0% hingga +200%, metrik ini memiliki keuntungan untuk membatasi bias dan kesalahan maksimum dan tidak mengizinkan beberapa titik data mendominasi metrik. Selain itu, metrik ini tidak mengasumsikan bahwa pengamatan adalah kebenaran mutlak. Akhirnya, metrik ini adalah simetris (yaitu, mereka memberikan bobot yang sama, secara relatif, untuk konsentrasi yang disimulasikan lebih tinggi dari pengamatan karena disimulasikan lebih rendah dari pengamatan). (Boylan dan Russell, 2006).

$$MFB = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i - O_i}{M_i + O_i} \right) \times 100$$

$$MFE = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|M_i - O_i|}{M_i + O_i} \right) \times 100$$

Keterangan:

N = Jumlah Data

M = Data Peramalan/WRF-Chem

O = Data Observasi

### **3.17 Root Mean Square Error**

RMSE (Root Mean Square Error). Mean menunjukkan nilai rata-rata sampai, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan sedangkan RMSE (Root Mean Square Error) merupakan

metode untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya, dihitung dengan formula berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

Keterangan:

$y_1$  = Data observasi

$y_2$  = Data wrfchame

n = Jumlah data

RMSE adalah metode untuk mengevaluasi suatu prediksi pada pemodelan ANN yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan yang dihasilkan suatu model. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model mendekati variasi nilai pengukurannya (Makridakis dkk, 1998).

RMSE didapatkan dari kuadrat selisih data observasi dan prakiraan dibagi dengan jumlah data yang diakarkan. Metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat daripada metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih besar.

Nilai RMSE menunjukkan tingkat akurasi dari model yang dibuat untuk melakukan prediksi terhadap nilai yang sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati nilai nol) maka semakin besar akurasi hasil prediksi yang dilakukan oleh model prediksi, begitupun sebaliknya

Sedangkan koefisien determinasi ( $R^2$ )  $R^2$  merupakan rasio variabilitas nilai-nilai yang dibuat model dengan variabilitas nilai data asli. Secara umum  $R^2$  digunakan sebagai informasi menegenai kecocokan suatu model. Dalam regresi  $R^2$  ini dijadikan sebagai seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang dibuat data model. Dengan kata lain,  $R^2$  berguna untuk melihat seberapa besar kontribusi pengaruh yang diberikan variabel independen terhadap variabel dependen (Sarwono, 2006).

### **3.18 Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon (O<sub>3</sub>) pertama kali ditemukan oleh C.F. Schonbein pada tahun 1840. Penamaan ozon diambil dari bahasa yunani OZEIN yang berarti smell atau bau.

Ozon dikenal sebagai gas yang tidak memiliki warna, memiliki molekul gas yang terdiri tiga buah atom oksigen, mempunyai berat molekul 48 gram, tidak stabil karena akan cepat sekali terurai menjadi oksigen normal yang mempunyai dua atom O<sub>2</sub> dan satu atom oksigen bebas atau Onasen (On). Ozon mempunyai titik didih -112°C, sebagian dapat larut dalam air. Dibandingkan dengan kelarutan oksigen, kelarutan ozon 20 kali lebih besar, baunya khas sehingga mudah untuk mendeteksinya meskipun konsentrasi rendah (0,01-0,05 ppm). Ozon biasanya digunakan dalam industri air minum, dalam rangka mencegah pertumbuhan jasad renik termasuk virus dalam air. Fungsi ozon pada saat ini digunakan untuk membunuh algae, mengoksidasi bahan organik, sehingga dapat menghilangkan 7 rasa, bau dan warna yang tidak diinginkan yang diakibatkan oleh reaksi bahan organik. Ozon dapat mengoksidasi besi dan mangan, menguraikan sulfit, menguraikan surfaktan dan menghilangkan kekeruhan. Ozon mempunyai sifat membunuh jasad renik yang kuat, sehingga sesuai untuk tujuan sterilisasi (Katz, 1980; Hadi dan Rivai, 1980). Dalam menginaktivasi virus, ozon lebih kuat dibandingkan dengan klorin, dan lebih menguntungkan karena tidak meninggalkan residu dan tidak merubah rasa. (D.Rusdi, 2002).

Secara alamiah Ozon dapat terbentuk melalui radiasi sinar ultraviolet pancaran sinar Matahari. Chapman menjelaskan pembentukan ozon secara alamiah pada tahun 1930. Di mana ia menjelaskan bahwa sinar ultraviolet dari pancaran sinar matahari mampu menguraikan gas oksigen di udara bebas. Molekul oksigen tadi terurai menjadi dua buah atom oksigen, proses ini kemudian dikenal dengan nama fotolisis. Lalu atom oksigen tadi secara alamiah bertumbukan dengan molekul gas oksigen yang ada disekitarnya, lalu terbentuklah ozon. Ozon yang terdapat pada lapisan stratosfer yang kita kenal dengan nama ozone layer (lapisan ozon) adalah ozon yang terjadi dari hasil proses alamiah fotolisis ini.

Sedangkan secara buatan Metode electrical discharge dan sinar radioaktif. Pembentukan ozon dengan electrical discharge ini secara prinsip sangat mudah. Prinsip ini dijelaskan oleh Devins pada tahun 1956. Ia menjelaskan bahwa tumbukan dari elektron yang dihasilkan oleh electrical discharge dengan molekul oksigen menghasilkan dua buah atom oksigen. Selanjutnya atom oksigen ini secara

alamiah bertumbukan kembali dengan molekul oksigen di sekitarnya, lalu terbentuklah ozon. metode electrical discharge merupakan metode yang paling banyak dipergunakan dalam pembuatan ozon diberbagai kegiatan industri. (Rahma, 2012).

### **3.19 Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>)**

Sulfur dioksida adalah gas tak terlihat yang berbau sangat tajam, mempunyai sifat tidak mudah terbakar, tidak mudah meledak, menyerang sistem pernafasan manusia dan dapat membunuh penderita asma. Senyawa ini terdiri dari molekul sederhana SO<sub>2</sub>. Sulfur menggunakan empat elektron terluarnya untuk membentuk ikatan rangkap dengan oksigen, menyisakan dua elektron yang tidak berpasangan pada sulfur. Bentuk bengkok dari SO<sub>2</sub> adalah akibat dari adanya pasangan elektron bebas tersebut. Senyawa ini (SO<sub>2</sub>) terbentuk dari proses pembakaran (batubara atau diesel), asap dari kegiatan industri, proses metalurgi atau ketika sulfur bubuk bewarna kuning keemasan yang terdapat di batubara atau minyak terbakar. Setelah berjam-jam atau berhari-hari tercampur di udara, sulfur dioksida membentuk partikel sangat halus yang disebut sulfat, yang dapat menembus bagian terdalam dari paru-paru. Sulfat kemudian bereaksi dengan air di awan untuk membentuk asam belerang, yang sering disebut hujan asam. Hujan asam atau penurunan pH air hujan dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan, kendaraan, tumbuhan-tumbuhan, juga dapat menyebabkan air danau atau sungai terlalu asam. Akibatnya kehidupan biota air akan terganggu bahkan terancam punah.

### **3.20 Weather Research and Forecasting (WRF-CHEM)**

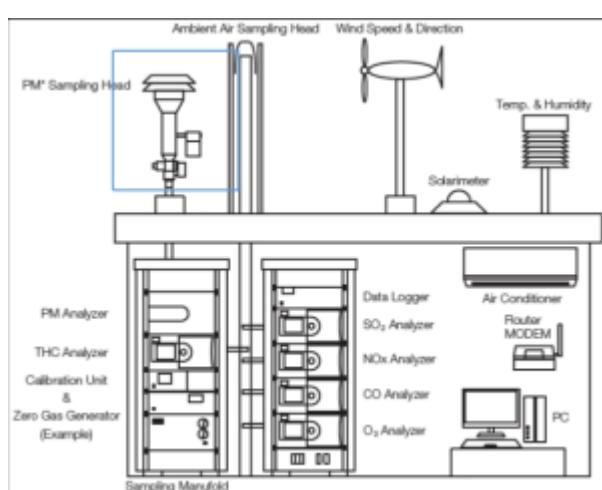
WRF-Chem adalah bentuk model WRF (Weather Research and Forecasting) yang dikombinasikan dengan perhitungan kimia yang dikembangkan dengan kerjasama dari NCAR, ESRI, dan PNNL. Model ini menyimulasikan emisi, transpor, percampuran, dan transformasi dari gas dan aerosol secara meteorologis dan simultan dan digunakan untuk meneliti kualitas udara dalam skala regional, analisis program lapangan, dan interaksi yang terjadi di dalam awan secara kimiawi. Akan tetapi, model meteorologi mutakhir seperti WRF (Weather Research and Forecasting) membutuhkan proses persiapan yang kompleks dan keahlian di bidang pengopresian dan pemrograman sistem operasi UNIX/Linux.

Hasil dari WRF-Chem antara lain adalah

- a. Analisis (misalnya analisis pembentukan aerosol organik, penentuan sumber karbon hitam di daerah Asia Selatan, pembentukan ozon di lapisan troposfer atas di aliran keluar konvektif (convective outflow), dan pembentukan nitrogen oksida dari petir).
- b. Studi Chemistry-Climatedi Amerika Utara dan Asia.
- c. Interkomparasi model
- d. Prakiraan proyek lapangan (Ahmadov dan Peckham, 2014).

### **3.21 Air Quality Monitoring System**

Air Quality Monitoring System (AQMS) adalah sistem pemantauan kualitas udara ambien secara otomatis, kontinu (24 jam), dan real-time data. AQMS dikembangkan oleh kementerian lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia di berbagai kota/wilayah di Indonesia. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP 45/MENLH/1997 tentang ISPU, bahwa untuk memberikan kemudahan dari keseragaman informasi kualitas udara ambien kepada masyarakat (sebagai haknya) di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara perlu disusun ISPU. Melalui AQMS, masyarakat dapat mengetahui indeks standar pencemar udara (ISPU) di wilayahnya, dalam kondisi baik, sedang, tidak sehat, dan sangat tidak sehat ISPU.



**Gambar 3. 1Air quality Monitoring Station (AQMS)**

(Sumber Gambar: Horiba)

### **3.22 Pola Diurnal**

Variasi diurnal adalah salah satu komponen utama variasi atmosfer di kawasan tropis yang menimbulkan dampak terhadap siklus hidrologi dan bidang terkait. Sebagai interaksi antara daratan dan lautan sekitarnya, fenomena ini dipengaruhi oleh kondisi topografi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi diurnal dari akumulasi, frekuensi dan intensitas curah hujan dalam kaitannya dengan topografi. (Suryanti, 2020).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Rata – rata 1 Jam Data Observasi AQMS**

Air Quality Monitoring System (AQMS) merupakan suatu sistem pemantauan kualitas udara yang dirancang untuk menghitung kadar senyawa-senyawa tertentu di udara seperti PM10, SO2, NOx, O3, NO2. Jaringan AQMS terdiri dari Fixed station, Mobile station, dan Regional Center. Data yang diperoleh diinformasikan dalam bentuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Data hasil pemantauan AQMS di tampilkan oleh Public Display yang terdapat di jalan. Public display ISPU dibentuk oleh LED yang menunjukkan angka dan bagaimana keadaan dari udara. Pemantauan kualitas udara di kota Ternate dilakukan selama 2 hari yaitu 02 mei dan 03 mei 2022 dengan pengukuran per 30 menit. Hasil pemantauan untuk parameter O3 dapat dilihat pada **Tabel 4.1** di bawah ini:

**Tabel 4. 1.Konsentrasi So2, Pm2,5 dan O3 di Kota Ternate 2022**

	Bulan	: Mei 2022				
	Kota	: Ternate				
	Stasiun	: Ternate				
	Parameter	: SO2, PM2,5, O3				
	Data AQMS					
Waktu	Data Observasi AQMS SO2		Data Observasi AQMS PM2.5		Data Observasi AQMS O3	
	2	3	2	3	2	3
00:00:00	5	8	10	5	10	8
00:30:00	10	5	12	4	10	8
01:00:00	8	8	8	2	12	10
01:30:00	5	5	7	3	10	10
02:00:00	5	8	10	6	8	12
02:30:00	5	8	9	4	10	8
03:00:00	5	5	6	3	10	12
03:30:00	10	3	6	4	10	8

	Bulan	: Mei 2022					
	Kota	: Ternate					
	Stasiun	: Ternate					
	Parameter	: SO2, PM2,5, O3					
	Data AQMS						
04:00:00	8	10	5	4	10	8	
04:30:00	10	8	6	3	12	10	
05:00:00	5	5	5	2	12	12	
05:30:00	8	5	7	2	10	10	
06:00:00	5	5	8	3	12	10	
06:30:00	5	8	7	2	12	14	
07:00:00	13	5	6	3	8	14	
07:30:00	18	13	6	3	12	12	
08:00:00	24	18	5	4	14	14	
08:30:00	26	21	5	3	12	12	
09:00:00	29	26	3	4	14	14	
09:30:00	34	29	7	2	16	14	
10:00:00	34	31	4	2	14	14	
10:30:00	39	31	4	4	12	14	
11:00:00	39	29	4	4	14	12	
11:30:00	39	29	5	2	14	14	
12:00:00	37	29	4	4	14	12	
12:30:00	37	34	2	2	14	14	
13:00:00	37	34	3	3	14	14	
13:30:00	37	37	3	3	14	14	
14:00:00	37	34	2	4	12	14	
14:30:00	37	39	2	3	12	12	
15:00:00	37	37	2	2	12	14	
15:30:00	37	37	3	4	14	10	
16:00:00	37	34	4	2	12	12	
16:30:00	34	34	9	3	12	12	
17:00:00	34	31	12	2	12	12	

	Bulan	: Mei 2022				
	Kota	: Ternate				
	Stasiun	: Ternate				
	Parameter	: SO2, PM2,5, O3				
	Data AQMS					
17:30:00	31	31	12	4	12	12
18:00:00	31	29	19	4	10	12
18:30:00	24	24	15	13	8	10
19:00:00	8	5	24	14	6	10
19:30:00	8	5	17	14	8	8
20:00:00	8	8	6	10	8	8
20:30:00	5	5	5	6	6	8
21:00:00	8	10	6	8	6	8
21:30:00	3	5	6	9	6	8
22:00:00	8	8	7	4	6	6
22:30:00	8	5	3	4	4	6
23:00:00	5	3	3	4	8	8
23:30:00	5	5	5	3	6	8
Min	3	3	2	2	4	6
Mean	19,63	17,63	6,85	4,31	10,71	10,96
<b>Maks</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	16	14
P95	105,26	105,26	105,26	105,26	105,26	105,26
P98	102,04	102,04	102,04	102,04	102,04	102,04

(Sumber; Hasil pemantauan 2022)

Berdasarkan data di atas pengukuran di lakukan per 30 menit selama 2 hari (48) untuk melakukan perbandingan dengan data WRF-Chem maka perlu di ambil rata – rata per 1 jam.

Nilai rata-rata atau mean adalah nilai khas yang mewakili sifat tengah atau posisi pusat dari kumpulan nilai data.

Rumus perhitungan rata-rata adalah:

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{K}$$

Keterangan:

$\bar{X}_1$  = Data pemantauan 30 menit pertama

$\bar{X}_2$  = Data pemantauan 30 menit kedua

K = jumlah subgroup

#### 4.1.1 Rata-Rata Per 1 Jam Konsentrasi Ozon (O<sub>3</sub>) Di Kota Ternate

Ozon dikenal sebagai pelindung bumi dari sinar ultraviolet matahari. Lapisan ozon terdapat pada stratosfer. Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF2). Pengukuran parameter ozon (O<sub>3</sub>) dilakukan selama 2 hari yaitu dari tanggal 02 mei – 03 mei 2022 di kota ternate. Hasil rata-rata pemantauan konsterasi ozon dapat di lihat pada **Tabel 4.2** di bawah ini:

**Tabel 4. 2.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Ozon (O<sub>3</sub>) di Kota Ternate**

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: O <sub>3</sub>
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
Waktu	Konsentrasi O <sub>3</sub> Observasi 02 mei	Konsentrasi O <sub>3</sub> Observasi 03 mei
00:00:00	10	8
00:30:00	10	8
Rata-rata 1jam	10	8
01:00:00	12	10
01:30:00	10	10
Rata-rata 1jam	11	10
02:00:00	8	12
02:30:00	10	8
Rata-rata 1jam	9	10
03:00:00	10	12
03:30:00	10	8
Rata-rata 1jam	10	10

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: O3
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
04:00:00	10	8
04:30:00	12	10
Rata-rata 1jam	11	9
05:00:00	12	12
05:30:00	10	10
Rata-rata 1jam	11	11
06:00:00	12	10
06:30:00	12	14
Rata-rata 1jam	12	12
07:00:00	8	14
07:30:00	12	12
Rata-rata 1jam	10	13
08:00:00	14	14
08:30:00	12	12
Rata-rata 1jam	13	13
09:00:00	14	14
09:30:00	14	14
Rata-rata 1jam	14	14
10:00:00	14	14
10:30:00	12	14
Rata-rata 1jam	13	14
11:00:00	14	12
11:30:00	14	14
Rata-rata 1jam	14	13
12:00:00	14	12
12:30:00	14	14
Rata-rata 1jam	14	13

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: O3
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
13:00:00	14	14
13:30:00	14	14
Rata-rata 1jam	14	14
14:00:00	12	14
14:30:00	12	12
Rata-rata 1jam	12	13
15:00:00	12	14
15:30:00	14	10
Rata-rata 1jam	13	12
16:00:00	12	12
16:30:00	12	12
Rata-rata 1jam	12	12
17:00:00	12	12
17:30:00	12	12
Rata-rata 1jam	12	12
18:00:00	10	12
18:30:00	8	10
Rata-rata 1jam	9	11
19:00:00	6	10
19:30:00	8	8
Rata-rata 1jam	7	9
20:00:00	8	8
20:30:00	6	8
Rata-rata 1jam	7	8
21:00:00	6	8
21:30:00	6	8
Rata-rata 1jam	6	8

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: O3
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
22:00:00	6	6
22:30:00	4	6
Rata-rata 1jam	5	6
23:00:00	8	8
23:30:00	6	8
Rata-rata 1jam	7	8

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{K}$$

$$\bar{X} = \frac{10 + 10}{2}$$

$$\bar{X} = 10$$

Waktu yang memiliki konsterasi O3 tertinggi terjadi pada jam 14.00 pada tanggal 02 mei 2022 dan jam 14.00 pada tanggal 03 mei 2022 yaitu sebanyak  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Profil konsentrasi ozon pada suatu wilayah memiliki pola yang khas dan berbeda dengan lokasi lainnya. Ini dapat disebabkan oleh pengaruh intensitas radiasi yang diterima oleh daerah tersebut. Selain itu musim juga dapat mempengaruhi konsetrasii ozon pada pengukuran tersebut dilakukan pada tanggal 02 dan 03 mei 2022 maka pengukuran tersebut dilakukan pada masa peralihan musim dari hujan ke kemarau sehingga intensitas matahari yang terjadi pada masa itu tinggi yang menyebabkan tinggi nya konsentrasi O3 di Kota Ternate.

Selain itu juga ozon secara alami terbentuk karena sinar ultraviolet dari pancaran sinar matahari mampu menguraikan gas oksigen di udara bebas. Molekul oksigen tadi terurai menjadi dua buah atom oksigen, proses ini kemudian dikenal dengan nama photolysis. Lalu atom oksigen tadi secara alamiah bertumbukan dengan molekul gas oksigen yang ada disekitarnya, lalu terbentuklah ozon. Ozon yang

terdapat pada lapisan stratosphere yang kita kenal dengan nama ozone layer (lapisan ozon) adalah ozon yang terjadi dari hasil proses alamiah photolysis ini.

Mekanisme Terbentuknya Ozon Pembentukan dan perusakan alami lapisan ozon Produksi:  $O_2 + \text{sinar uv} \rightleftharpoons O + O$   $O_2 + O \rightleftharpoons O_3$  Destruksi oleh UV:  $O_3 + \text{sinar uv} \rightleftharpoons O_2 + O$   $O + O_3 \rightleftharpoons O_2 + O_2$   $2O_3 \rightleftharpoons 3O_2$  Atom oksigen terbentuk oleh sinar UV sangat reaktif. Serapan sinar UV menghangatkan stratosphere.

Ozon ( $O_3$ ) dihasilkan apabila  $O_2$  menyerap sinar ultraviolet pada jarak gelombang 242 nanometer. Ozon juga bisa terbentuk pada kadar rendah dalam udara akibat arus listrik seperti kilat dan oleh tenaga tinggi seperti radiasi elektromagnetik.

Tingginya konsetrasi ozon dapat menyebabkan Ozon di muka bumi terbentuk oleh sinar ultraviolet yang menguraikan molekul  $O_3$  membentuk unsur oksigen. Unsur oksigen ini bila bercampur dengan  $N_2$  akan membentuk Nitrogen Oksida ( $NO_x$ ) yang sangat beracun dan berbahaya karena bisa meningkatkan resiko infeksi saluran pernapasan.

#### **4.1.2 Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Pm2.5 di Kota Ternate**

Materi partikulat (PM) merupakan salah satu polutan udara yang mulai dipertimbangkan keberadaannya, sebab berdampak pada iklim, lingkungan, visibilitas dan kesehatan manusia,

PM diklasifikasikan berdasarkan ukuran diameter aerodinamiknya, partikulat yang diameternya berukuran  $>2,5\mu\text{m}$  diklasifikasikan sebagai partikulat kasar (coarse particles) atau PM10, sedangkan partikulat dengan diameter yang berukuran  $< 2,5\mu\text{m}$  diklasifikasikan sebagai partikulat halus (fine particles) atau PM2,5. Ukuran merupakan salah satu karakteristik penting dari partikulat sebab berpengaruh terhadap akumulasi di atmosfer, konsentrasi dan waktu tinggal di atmosfer, terutama untuk polutan PM2,5 yang ukurannya sangat kecil. Hal ini memudahkan PM2,5 untuk berpenetrasi lebih jauh ke dalam paru-paru ditambah area permukaannya yang sangat besar sehingga dapat menyerap senyawa-senyawa organik berbahaya. Hasil rata-rata pemantauan untuk konsentrasi parameter Pm2.5 dapat dilihat pada **Tabel 4.3** di bawah ini.

**Tabel 4. 3.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi Pm2.5 di Kota Ternate**

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: Pm2.5
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
Waktu	Konsentrasi PM2.5 Observasi 02 mei	Konsentrasi PM2.5 Observasi 03 mei
00:00:00	10	5
00:30:00	12	4
Rata-rata 1jam	11	4,5
01:00:00	8	2
01:30:00	7	3
Rata-rata 1jam	7,5	2,5
02:00:00	10	6
02:30:00	9	4
Rata-rata 1jam	9,5	5
03:00:00	6	3
03:30:00	6	4
Rata-rata 1jam	6	3,5
04:00:00	5	4
04:30:00	6	3
Rata-rata 1jam	5,5	3,5
05:00:00	5	2
05:30:00	7	2
Rata-rata 1jam	6	2
06:00:00	8	3
06:30:00	7	2
Rata-rata 1jam	7,5	2,5

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: Pm2.5
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
07:00:00	6	3
07:30:00	6	3
Rata-rata 1jam	6	3
08:00:00	5	4
08:30:00	5	3
Rata-rata 1jam	5	3,5
09:00:00	3	4
09:30:00	7	2
Rata-rata 1jam	5	3
10:00:00	4	2
10:30:00	4	4
Rata-rata 1jam	4	3
11:00:00	4	4
11:30:00	5	2
Rata-rata 1jam	4,5	3
12:00:00	4	4
12:30:00	2	2
Rata-rata 1jam	3	3
13:00:00	3	3
13:30:00	3	3
Rata-rata 1jam	3	3
14:00:00	2	4
14:30:00	2	3
Rata-rata 1jam	2	3,5
15:00:00	2	2
15:30:00	3	4
Rata-rata 1jam	2,5	3

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: Pm2.5
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
16:00:00	4	2
16:30:00	9	3
Rata-rata 1jam	6,5	2,5
17:00:00	12	2
17:30:00	12	4
Rata-rata 1jam	12	3
18:00:00	19	4
18:30:00	15	13
Rata-rata 1jam	17	8,5
19:00:00	24	14
19:30:00	17	14
Rata-rata 1jam	20,5	14
20:00:00	6	10
20:30:00	5	6
Rata-rata 1jam	5,5	8
21:00:00	6	8
21:30:00	6	9
Rata-rata 1jam	6	8,5
22:00:00	7	4
22:30:00	3	4
Rata-rata 1jam	5	4
23:00:00	3	4
23:30:00	5	3
Rata-rata 1jam	4	3,5

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Waktu yang memiliki konsterasi Pm2.5 tertinggi terjadi pada jam 19.00 pada tanggal 02 mei 2022 dan jam 19.00 pada tanggal 03 mei 2022 yaitu sebanyak  $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tingginya konsentrasi Pm2.5 pada jam tersebut terjadi karena banyaknya masyarakat yang beraktivitas menggunakan kendaraan setelah pulang bekerja sehingga menyebabkan tingginya konsentrasi Pm2.5 pada jam tersebut. Fraksi utama partikel ukuran ini banyak bersumber dari industri. Sumber kontaminan debu partikulat berasal dari luar ruangan umumnya berasal dari emisi/ gas buang kendaraan bermotor. Sumber utama dari PM2,5 umumnya diemisikan dari proses pembakaran dengan temperatur yang tinggi, operasional industri, dan kendaraan bermotor, di kebanyakan wilayah di perkotaan penggunaan kendaraan bermotor menjadi mayoritas sumber yang mengemisikan PM2,5 ke udara.

Selain itu partikulat di atmosfer berdasarkan sumber dan proses pembentukannya dapat dikategorikan sebagai primary dan secondary partikulat, partikulat primer merupakan partikulat yang diemisikan langsung ke atmosfer dari sumbernya baik dari sumber alamiah maupun antropogenik, sedangkan partikulat sekunder dihasilkan dari fase gas yang diemisikan dari sumber alamiah dan antropogenik yang diakibatkan dari proses kimiawi di atmosfer yang melibatkan gas, partikel aerosol, uap air serta H<sub>2</sub>O, 30% partikulat di atmosfer dengan ukuran  $<5\mu\text{m}$  Mayoritas konsentrasi PM2,5 di atmosfer merupakan partikulat sekunder.

Tingginya konsterasi pm 2,5 di udara dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan manusia, karena PM2,5 dapat membawa berbagai zat beracun, apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernafasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru-paru. Dampak paparan jangka pendek maupun jangka panjang dari PM2,5 menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia.

#### **4.1.3 Rata-Rata Per 1 Jam Konsentrasi So2 di Kota Ternate**

Merupakan komponen berbentuk gas dan tak berwarna yang ditimbulkan dengan dua unsur komponen sulfur berbentuk gas yaitu Sulfur Trioksida (SO<sub>3</sub>) dan Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>). Dimana unsur ini memiliki ciri-ciri yang dimana tidak mudah terbakar dan bau yang tajam di udara, sedangkan Sulfur Trioksida sendiri

merupakan unsur di udara lemah dalam kereaktifannya. Hasil rata-rata pemantauan konsterasi SO<sub>2</sub> dapat di lihat pada **Tabel 4.4** di bawah ini.

**Tabel 4.4.Rata-Rata Per 1 Jam Konsetrasi SO<sub>2</sub> di Kota Ternate**

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: SO <sub>2</sub>
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
Waktu	Konsentrasi SO <sub>2</sub> Observasi 02 mei	Konsentrasi SO <sub>2</sub> Observasi 03 mei
00:00:00	5	8
00:30:00	10	5
Rata-rata 1jam	7,5	6,5
01:00:00	8	8
01:30:00	5	5
Rata-rata 1jam	6,5	6,5
02:00:00	5	8
02:30:00	5	8
Rata-rata 1jam	5	8
03:00:00	5	5
03:30:00	10	3
Rata-rata 1jam	7,5	4
04:00:00	8	10
04:30:00	10	8
Rata-rata 1jam	9	9
05:00:00	5	5
05:30:00	8	5
Rata-rata 1jam	6,5	5
06:00:00	5	5

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: SO2
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
06:30:00	5	8
Rata-rata 1jam	5	6,5
07:00:00	13	5
07:30:00	18	13
Rata-rata 1jam	15,5	9
08:00:00	24	18
08:30:00	26	21
Rata-rata 1jam	25	19,5
09:00:00	29	26
09:30:00	34	29
Rata-rata 1jam	31,5	27,5
10:00:00	34	31
10:30:00	39	31
Rata-rata 1jam	36,5	31
11:00:00	39	29
11:30:00	39	29
Rata-rata 1jam	39	29
12:00:00	37	29
12:30:00	37	34
Rata-rata 1jam	37	31,5
13:00:00	37	34
13:30:00	37	37
Rata-rata 1jam	37	35,5
14:00:00	37	34
14:30:00	37	39
Rata-rata 1jam	37	36,5
15:00:00	37	37

	Bulan	: Mei 2022
	Kota	: Ternate
	Stasiun	: Ternate
	Parameter	: SO2
	Data AQMS	
	Rata-Rata 1jam	
15:30:00	37	37
Rata-rata 1jam	37	37
16:00:00	37	34
16:30:00	34	34
Rata-rata 1jam	35,5	34
17:00:00	34	31
17:30:00	31	31
Rata-rata 1jam	32,5	31
18:00:00	31	29
18:30:00	24	24
Rata-rata 1jam	27,5	26,5
19:00:00	8	5
19:30:00	8	5
Rata-rata 1jam	8	5
20:00:00	8	8
20:30:00	5	5
Rata-rata 1jam	6,5	6,5
21:00:00	8	10
21:30:00	3	5
Rata-rata 1jam	5,5	7,5
22:00:00	8	8
22:30:00	8	5
Rata-rata 1jam	8	6,5
23:00:00	5	3
23:30:00	5	5
Rata-rata 1jam	5	4

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Waktu yang memiliki konsterasi So<sub>2</sub> tertinggi terjadi pada jam 11.00 pada tanggal 02 mei 2022 dan jam 14.00 pada tanggal 03 mei 2022 yaitu sebanyak 39 µg/m<sup>3</sup>. Tingginya kadar sulfur dioksida (So<sub>2</sub>) pada jam tersebut di karenakan tingginya aktifitas masyarakat pada jam tersebut karena sumber buatan sulfur dioksida (So<sub>2</sub>) buatan berasal dari pembakaran bahan bakar minyak, gas, dan batu bara yang mengandung sulfur tinggi. Sumber-sumber buatan ini diperkirakan memberi kontribusi sebanyak sepertiganya saja dari seluruh SO<sub>2</sub> atmosfer per tahun. Selain itu Kanopi tanaman mempengaruhi temperatur udara, penyerapan radiasi matahari, penyimpanan panas, kecepatan angin, kelembaban udara dan turbulensi angin. Keberadaan kanopi tanaman bisa merubah kondisi meteorologi lokal. Perubahan meteorologi lokal dapat mengubah konsentrasi pencemar di perkotaan. Kecepatan angin, suhu udara dan kelembaban udara adalah bagian dari parameter meteorologi yang dapat mempengaruhi konsentrasi gas pencemar di udara. konsentrasi SO<sub>2</sub> udara ambien saat kecepatan angin tinggi dan saat kecepatan angin rendah, semakin besar kecepatan angin maka konsentrasi SO<sub>2</sub> semakin kecil dan semakin kecilnya kecepatan angin maka konsentrasi SO<sub>2</sub> akan semakin besar.

Kelembapan udara juga dapat mempengaruhi tingginya konsetrasasi SO<sub>2</sub> Pada saat kelembaban udara tinggi, menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> rendah yang disebabkan karena penguapan uap air yang ditransfer ke udara oleh naiknya suhu udara, sehingga konsentrasi SO<sub>2</sub> mengalami penurunan.

karena pengukuran ini dilakukan pada bulan mei 2022 yang dimana bulan mei merupakan musim peralihan dari musim hujan ke kemarau hal ini dapat menyebabkan tingginya konsterasi pada pengukuran yang dilakukan.

Tingginya konsentrasi SO<sub>2</sub> dapat membahayakan bagi kesehatan manusia karena gas SO<sub>2</sub> memberikan efek negatif pada sistem pernapasan dan fungsi paruparu. Peradangan yang disebabkan SO<sub>2</sub> akan mengakibatkan batuk, sekresi lendir yang berlebihan, peningkatan gejala asma dan bronkitis kronis serta membuat manusia lebih mudah mendapatkan infeksi pada saluran pernapasan.

#### **4.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS**

Untuk menggunakan sistem pemodelan kualitas udara dengan percaya diri, kinerja model harus dievaluasi terhadap pengamatan. Sementara pemodelan dan evaluasi ozon cukup berkembang, pemodelan partikulat (PM) masih merupakan ilmu yang terus berkembang selain itu juga evaluasi terhadap So<sub>2</sub> cukup berkembang. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan data dalam bentuk angka dan analisis statistik untuk menjawab permasalahan penelitian yang dirumuskan. Jenis penelitian kuantitatif adalah metode korelasi karena membandingkan data dari Pemodelan WRF-Cehm dan data observasi AQMS dengan menggunakan pendekatan korelasi statistik. Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistik Deskriptif, yang mana menurut Statistik Deskriptif adalah data yang dikumpulkan dalam sampel yang dapat memberikan gambaran atau deskripsi karakteristik melalui nilai rata-rata, maksimum dan minimum serta RMSE (Root Mean Square Error). Mean menunjukkan nilai rata-rata sampel, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan sedangkan RMSE (Root Mean Square Error) merupakan metode untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya. RMSE dapat digunakan untuk melihat tingkat keerroran dari suatu data, selain itu juga untuk pemodelan ozon dapat menggunakan metode (*UPA*)<sup>b</sup> *Unpaired Peak Accuracy*, (*MNGE*)<sup>a</sup> *Mean Normalized Gross Error*, (*MNBE*)<sup>b</sup> *Mean Normalized Bias Error*.

Sedangkan untuk pemodelan kualitas Pm<sub>2,5</sub> untuk udara ambien menggunakan metode (*MFB*)<sup>c</sup> *Mean Fractional Bias* dan (*MFE*)<sup>c</sup> *Mean Fractional Error*'.

### **4.3 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS O3 (ozon) Dengan Metode RMSE, UPA, MNGE dan MNBE**

Pemodelan dan evaluasi ozon cukup berkembang penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan data dalam bentuk angka dan analisis statistik untuk menjawab permasalahan penelitian yang dirumuskan. Jenis penelitian kuantitatif adalah metode korelasi karena membandingkan data dari Pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan menggunakan pendekatan korelasi statistik. Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistik Deskriptif, yang mana menurut Statistik Deskriptif adalah data yang dikumpulkan dalam sampel yang dapat memberikan gambaran atau deskripsi karakteristik melalui nilai rata-rata, maksimum dan minimum serta RMSE (Root Mean Square Error). Mean menunjukkan nilai rata-rata sampel, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan sedangkan RMSE (Root Mean Square Error) merupakan metode untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya, dihitung dengan formula berikut:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

Keterangan:

$y_1$  = Data observasi

$y_2$  = Data wrfchame

$n$  = Jumlah data

Selain itu juga untuk pemodelan kualitas ozon udara ambien menggunakan metode lain yaitu (*UPA*)<sup>b</sup> *Unpaired Peak Accuracy*, (*MNGE*)<sup>a</sup> *Mean Normalized Gross Error*, (*MNBE*)<sup>b</sup> *Mean Normalized Bias Error* dengan formula sebagai berikut:

$$\text{UPA} = \frac{M_{\max} - O_{\max}}{O_{\max}} \times 100$$

Keterangan:

$M_{\max}$  = Nilai Maksimum Data Pramalan

$O_{\max}$  = Nilai Maksimum Data Observasi

$$MNGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Oi|}{oi} \times 100$$

Keterangan:

N = Jumlah Data

Mi = Data Model Peramalan

Oi = Data Observasi Peramalan

$$MNE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{Mi - Oi}{oi}$$

Keterangan:

N = Jumlah Data

Mi = Data Model Peramalan

Oi = Data Observasi Peramalan

#### **4.3.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS**

##### **Konsetrasi O<sub>3</sub> di Kota Ternate Metode RSME**

Data konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode RSME. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode RSME dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dibawah ini:

**Tabel 4. 5. Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O3) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode RSME**

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Error	Square of Error
00:00	10	58,08	48,08	2311,93
01:00	11	55,88	44,88	2014,12
02:00	9	53,28	44,28	1960,42
03:00	10	51,46	41,46	1719,12
04:00	11	51,13	40,13	1610,64
05:00	11	51,39	40,39	1631,64
06:00	12	51,56	39,56	1564,98
07:00	10	52,43	42,43	1800,60
08:00	13	52,52	39,52	1561,72
09:00	15	53,71	38,71	1498,85
10:00	13	58,43	45,43	2063,55
11:00	14	64,61	50,61	2561,20
12:00	14	65,82	51,82	2685,15
13:00	14	67,63	53,63	2876,47
14:00	12	64,36	52,36	2741,29
15:00	13	67,17	54,17	2934,79
16:00	12	65,52	53,52	2864,83
17:00	12	64,14	52,14	2718,74
18:00	9	65,22	56,22	3161,11
19:00	7	65,82	58,82	3460,08
20:00	7	65,90	58,90	3469,42
21:00	6	64,14	58,14	3379,89
22:00	5	61,63	56,63	3206,88
23:00	7	60,24	53,24	2834,23
00:00	8	58,32	50,32	2532,37
01:00	10	59,86	49,86	2486,46
02:00	10	59,27	49,27	2427,27
03:00	10	56,86	46,86	2196,24
04:00	9	48,37	39,37	1549,90
05:00	11	45,39	34,39	1182,56
06:00	12	38,66	26,66	710,97
07:00	13	43,65	30,65	939,16
08:00	13	44,76	31,76	1008,56
09:00	14	43,79	29,79	887,59
10:00	14	49,03	35,03	1226,82
11:00	13	54,26	41,26	1702,79

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Error	Square of Error
12:00	13	65,28	52,28	2732,97
13:00	14	62,94	48,94	2394,79
14:00	13	57,67	44,67	1995,15
15:00	12	58,85	46,85	2194,97
16:00	12	57,33	45,33	2055,08
17:00	12	65,09	53,09	2818,36
18:00	11	68,54	57,54	3311,32
19:00	9	58,60	49,60	2460,29
20:00	8	59,60	51,60	2662,57
21:00	8	60,18	52,18	2722,80
22:00	6	57,43	51,43	2645,04
23:00	8	51,27	43,27	1872,52
Min	5	38,66	jumlah	107348,21
Mean	10,83	57,44	RMSE	47,29
Maks	15	68,54		
P95	105,26	105,26		
P98	102,04	102,04		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh perhitungan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{107348,2068}{48}}$$

$$RMSE = 47,29$$

Berdasarkan data **Tabel 4.5** menggunakan metode RSME didapatkan hasil RMSE untuk perbandingan data konsetrasi O3 keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 47,29. karena dari perhitungan nilai RMSE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memiliki standar error tergolong besar yaitu 47,29. Nilai RMSE dinyatakan akurat jika nilai menunjukkan tingkat nilai yang kecil. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati nilai nol) maka semakin besar akurasi hasil prediksi yang dilakukan oleh model prediksi, begitupun sebaliknya.

#### **4.3.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode UPA**

Data konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode UPA. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode UPA dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dibawah ini:

**Tabel 4. 6.Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O<sub>3</sub>) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode UPA**

Waktu	O <sub>3</sub> observasi	O <sub>3</sub> WRF-chem
00:00	10	58,08
01:00	11	55,88
02:00	9	53,28
03:00	10	51,46
04:00	11	51,13
05:00	11	51,39
06:00	12	51,56
07:00	10	52,43
08:00	13	52,52
09:00	15	53,71
10:00	13	58,43
11:00	14	64,61
12:00	14	65,82
13:00	14	67,63
14:00	12	64,36
15:00	13	67,17
16:00	12	65,52
17:00	12	64,14
18:00	9	65,22
19:00	7	65,82
20:00	7	65,90

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem
21:00	6	64,14
22:00	5	61,63
23:00	7	60,24
00:00	8	58,32
01:00	10	59,86
02:00	10	59,27
03:00	10	56,86
04:00	9	48,37
05:00	11	45,39
06:00	12	38,66
07:00	13	43,65
08:00	13	44,76
09:00	14	43,79
10:00	14	49,03
11:00	13	54,26
12:00	13	65,28
13:00	14	62,94
14:00	13	57,67
15:00	12	58,85
16:00	12	57,33
17:00	12	65,09
18:00	11	68,54
19:00	9	58,60
20:00	8	59,60
21:00	8	60,18
22:00	6	57,43
23:00	8	51,27
Min	5	38,66
Mean	10,83	57,44
Maks	15	68,54
P95	105,26	105,26
P98	102,04	102,04
UPA	356,96	

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$\text{UPA} = \frac{68,54408264 - 15}{15} \times 100$$

$$\text{UPA} = 356,96\%$$

Berdasarkan data **Tabel 4.6** menggunakan metode UPA didapatkan hasil UPA untuk perbandingan data konsetrasi O<sub>3</sub> keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 356,96%. Karena dari nilai hasil tersebut metode perhitungan statistik nilai UPA perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem dianggap tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena berdasarkan (USEPA 1991). Dalam buku Integrated Air Quality Management ASIAN Case Studies(Oanh, 2012) yang tercantum dalam **Tabel 3.1** kriteria yang disarankan dan dianggap valid (baik) dari metode perhitungan *Unpaired Peak Accuracy* (UPA) adalah ozon  $\leq \pm 25\%$ .

#### **4.3.3 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O<sub>3</sub> di Kota Ternate Metode MNGE**

Data konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode MNGE. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode MNGE dapat dilihat pada **Tabel 4.7** dibawah ini:

**Tabel 4. 7.Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O3) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MNGE**

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Mi-Oi	$\frac{ Mi - Oi }{Oi}$
00:00	10	58,08	48,08	480,83
01:00	11	55,88	44,88	407,99
02:00	9	53,28	44,28	491,96
03:00	10	51,46	41,46	414,62
04:00	11	51,13	40,13	364,84
05:00	11	51,39	40,39	367,21
06:00	12	51,56	39,56	329,67
07:00	10	52,43	42,43	424,33
08:00	13	52,52	39,52	303,99
09:00	15	53,71	38,71	258,10
10:00	13	58,43	45,43	349,43
11:00	14	64,61	50,61	361,49
12:00	14	65,82	51,82	370,13
13:00	14	67,63	53,63	383,09
14:00	12	64,36	52,36	436,31
15:00	13	67,17	54,17	416,72
16:00	12	65,52	53,52	446,03
17:00	12	64,14	52,14	434,51
18:00	9	65,22	56,22	624,71
19:00	7	65,82	58,82	840,32
20:00	7	65,90	58,90	841,45
21:00	6	64,14	58,14	968,95
22:00	5	61,63	56,63	1132,59
23:00	7	60,24	53,24	760,54
00:00	8	58,32	50,32	629,03
01:00	10	59,86	49,86	498,64
02:00	10	59,27	49,27	492,67
03:00	10	56,86	46,86	468,64
04:00	9	48,37	39,37	437,43
05:00	11	45,39	34,39	312,62
06:00	12	38,66	26,66	222,20
07:00	13	43,65	30,65	235,74
08:00	13	44,76	31,76	244,29
09:00	14	43,79	29,79	212,80
10:00	14	49,03	35,03	250,19

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Mi-Oi	$\frac{ Mi - Oi }{O_i}$
11:00	13	54,26	41,26	317,42
12:00	13	65,28	52,28	402,14
13:00	14	62,94	48,94	349,55
14:00	13	57,67	44,67	343,59
15:00	12	58,85	46,85	390,42
16:00	12	57,33	45,33	377,77
17:00	12	65,09	53,09	442,40
18:00	11	68,54	57,54	523,13
19:00	9	58,60	49,60	551,13
20:00	8	59,60	51,60	645,00
21:00	8	60,18	52,18	652,26
22:00	6	57,43	51,43	857,17
23:00	8	51,27	43,27	540,91
Min	5	38,66	Jumlah	22606,96
Mean	10,83	57,44	MNGE	470,98
Maks	15	68,54		
P95	105,26	105,26		
P98	102,04	102,04		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$MNGE = \frac{1}{48} \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Oi|}{O_i} \times 100$$

$$MNGE = \frac{22606,965}{48}$$

$$MNGE = 470,98\%$$

Berdasarkan data **Tabel 4.7** menggunakan metode MNGE didapatkan hasil MNGE untuk perbandingan data konsetrasi O3 keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 470,98%. Karena dari perhitungan nilai MNGE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem nilai dari hasil metode perhitungan statistik nilai MNGE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem dianggap tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena berdasarkan (Boylan dan Russell, 2006). Dalam buku Integrated Air Quality Management ASIAN Case Studies(Oanh, 2012) yang

tercantum dalam **Tabel 3.1** kriteria yang disarankan dan dianggap valid (baik) dari metode perhitungan *Mean Normalized Gross Error* (MNGE) adalah ozon $\leq \pm 35\%$ .

#### **4.3.4 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi O3 di Kota Ternate Metode MNBE**

Data konsentrasi ozon (O3) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi ozon (O3) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode MNBE. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi ozon (O3). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode MNBE dapat dilihat pada **Tabel 4.8** dibawah ini:

**Tabel 4.8. Perbandingan Data konsetrasi Ozon (O3) Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MNBE**

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Mi-Oi	$\frac{mi - oi}{oi}$
00:00	10	58,08	48,08	4,81
01:00	11	55,88	44,88	4,08
02:00	9	53,28	44,28	4,92
03:00	10	51,46	41,46	4,15
04:00	11	51,13	40,13	3,65
05:00	11	51,39	40,39	3,67
06:00	12	51,56	39,56	3,30
07:00	10	52,43	42,43	4,24
08:00	13	52,52	39,52	3,04
09:00	15	53,71	38,71	2,58
10:00	13	58,43	45,43	3,49
11:00	14	64,61	50,61	3,61
12:00	14	65,82	51,82	3,70
13:00	14	67,63	53,63	3,83
14:00	12	64,36	52,36	4,36
15:00	13	67,17	54,17	4,17
16:00	12	65,52	53,52	4,46
17:00	12	64,14	52,14	4,35

Waktu	O3 observasi	O3WRF-chem	Mi-Oi	$\frac{mi - oi}{oi}$
18:00	9	65,22	56,22	6,25
19:00	7	65,82	58,82	8,40
20:00	7	65,90	58,90	8,41
21:00	6	64,14	58,14	9,69
22:00	5	61,63	56,63	11,33
23:00	7	60,24	53,24	7,61
00:00	8	58,32	50,32	6,29
01:00	10	59,86	49,86	4,99
02:00	10	59,27	49,27	4,93
03:00	10	56,86	46,86	4,69
04:00	9	48,37	39,37	4,37
05:00	11	45,39	34,39	3,13
06:00	12	38,66	26,66	2,22
07:00	13	43,65	30,65	2,36
08:00	13	44,76	31,76	2,44
09:00	14	43,79	29,79	2,13
10:00	14	49,03	35,03	2,50
11:00	13	54,26	41,26	3,17
12:00	13	65,28	52,28	4,02
13:00	14	62,94	48,94	3,50
14:00	13	57,67	44,67	3,44
15:00	12	58,85	46,85	3,90
16:00	12	57,33	45,33	3,78
17:00	12	65,09	53,09	4,42
18:00	11	68,54	57,54	5,23
19:00	9	58,60	49,60	5,51
20:00	8	59,60	51,60	6,45
21:00	8	60,18	52,18	6,52
22:00	6	57,43	51,43	8,57
23:00	8	51,27	43,27	5,41
Min	5	38,66	jumlah	226,07
Mean	10,83	57,44	MNBE	4,71
Maks	15	68,54		
P95	105,26	105,26		
P98	102,04	102,04		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$MNBE = \frac{1}{48} \sum_{i=1}^n \frac{M_i - O_i}{O_i}$$

$$MNBE = \frac{226,0696}{48}$$

$$MNBE = 4,71\%$$

Berdasarkan data **Tabel 4.8** menggunakan metode MNBE didapatkan hasil MNBE untuk perbandingan data konsetrasi O<sub>3</sub> keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 4,709784%. karena dari perhitungan nilai MNBE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem nilai dari hasil metode perhitungan statistik nilai MNBE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memenuhi kriteria karena berdasarkan (Boylan dan Russell, 2006). Dalam buku Integrated Air Quality Management ASIAN Case Studies (Oanh, 2012) yang tercantum dalam **Tabel 3.1** kriteria yang disarankan dan dianggap valid (baik) dari metode perhitungan *Mean Normalized Bias Error* (MNBE) adalah ozon  $\leq \pm 15\%$ .

#### **4.4 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Partikulat (Pm2.5) Dengan Metode RMSE, MFB, dan MFE**

Pemodelan partikulat (PM) masih merupakan ilmu yang terus berkembang. EPA telah mengeluarkan panduan minimal tentang PM dan metrik evaluasi kinerja model visibilitas, tujuan, dan kriteria. Makalah ini membahas masalah ini dengan memeriksa berbagai metrik bias dan kesalahan dan mengusulkan tujuan kinerja model PM (tingkat akurasi yang dianggap mendekati yang terbaik yang diharapkan dapat dicapai oleh model).

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan data dalam bentuk angka dan analisis statistik untuk menjawab permasalahan penelitian yang dirumuskan. Jenis penelitian kuantitatif adalah metode korelasi karena membandingkan data dari Pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan menggunakan pendekatan korelasi statistik. Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistik Deskriptif, yang mana menurut Statistik Deskriptif adalah data yang dikumpulkan dalam sampel yang dapat

memberikan gambaran atau deskripsi karakteristik melalui nilai rata-rata, maksimum dan minimum serta RMSE (Root Mean Square Error. Mean menunjukkan nilai rata-rata sampel, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan sedangkan RMSE (Root Mean Square Error) merupakan metode untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya, dihitung dengan formula berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

Keterangan:

$y_1$  = Data observasi

$y_2$  = Data wrfchame

$n$  = Jumlah data

Selain itu juga untuk pemodelan kualitas Pm2,5 untuk udara ambien menggunakan metode  $(MFB)^c$  Mean Fractional Bias dan  $(MFE)^c$  Mean Fractional Error dengan formula sebagai berikut:

$$MFB = \frac{2}{N} \sum_{N=1}^n \left( \frac{M_i - O_i}{M_i + O_i} \right)$$

$$MFE = \frac{2}{N} \sum_{N=1}^n \left( \frac{|M_i - O_i|}{M_i + O_i} \right)$$

Keterangan:

$N$  = Jumlah Data

$M$  = Data Peramalan/WRF-Chem

$O$  = Data Observasi

#### **4.4.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS**

##### **Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode RMSE**

Data konsentrasi partikulat (Pm2,5) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi partikulat (Pm2.5) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode RSME. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi

ozon (O<sub>3</sub>). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode RSME dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dibawah ini:

**Tabel 4.9 Perbandingan Data konsetrasi Pm2.5 Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode RMSE**

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Absolute Value of Error	Square of Error
00:00	11	0,60	10,40	108,10
01:00	7,5	0,58	6,92	47,93
02:00	9,5	0,54	8,96	80,28
03:00	6	0,48	5,52	30,48
04:00	6,5	0,43	6,07	36,78
05:00	6	0,42	5,58	31,18
06:00	7,5	0,44	7,06	49,91
07:00	6	0,45	5,55	30,76
08:00	5	0,45	4,55	20,66
09:00	5	0,40	4,60	21,18
10:00	4	0,42	3,58	12,81
11:00	4,5	0,46	4,04	16,29
12:00	3	0,51	2,49	6,21
13:00	3	0,45	2,55	6,50
14:00	2	0,53	1,47	2,16
15:00	2,5	0,50	2,00	4,01
16:00	6,5	0,54	5,96	35,57
17:00	12	0,56	11,44	130,95
18:00	17	0,64	16,36	267,56
19:00	20,5	0,71	19,79	391,46
20:00	5,5	0,68	4,82	23,24
21:00	6	0,63	5,37	28,82
22:00	5	0,62	4,38	19,17
23:00	4	0,59	3,41	11,60
00:00	4,5	1,90	2,60	6,75
01:00	2,5	1,85	0,65	0,42
02:00	5	1,86	3,14	9,84
03:00	3,5	1,72	1,78	3,18
04:00	3,5	2,01	1,49	2,21
05:00	2	2,25	-0,25	0,06
06:00	2,5	2,82	-0,32	0,10
07:00	3	2,43	0,57	0,33
08:00	3,5	2,09	1,41	2,00

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Absolute Value of Error	Square of Error
09:00	3	2,00	1,00	1,00
10:00	3	1,69	1,31	1,72
11:00	3	2,05	0,95	0,91
12:00	3	1,52	1,48	2,18
13:00	3	1,91	1,09	1,20
14:00	3,5	2,62	0,88	0,78
15:00	3	2,69	0,31	0,10
16:00	2,5	2,82	-0,32	0,10
17:00	3	3,00	0,00	0,00
18:00	8,5	2,23	6,27	39,28
19:00	14	2,60	11,40	129,89
20:00	8	2,43	5,57	31,08
21:00	8,5	2,57	5,93	35,15
22:00	4	2,60	1,40	1,96
23:00	3,5	2,73	0,77	0,60
Min	2	0,40	Jumlah	1684,42
Mean	5,6	1,40	RMSE	5,92
Maks	20,5	3,00		
P95	105,26	105,26		
P98	102,04	102,04		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh perhitungan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1684,42232}{48}}$$

$$RMSE = 5,92$$

Berdasarkan data **Tabel 4.9** menggunakan metode RSME didapatkan hasil RMSE untuk perbandingan data konsetrasi O3 keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 5,92. karena dari perhitungan nilai RMSE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memiliki standar error tergolong besar yaitu 5,92. Nilai RMSE dinyatakan akurat jika nilai menunjukkan tingkat nilai yang kecil. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati nilai

nol) maka semakin besar akurasi hasil prediksi yang dilakukan oleh model prediksi, begitupun sebaliknya.

#### **4.4.2 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode MFB**

Data konsentrasi partikulat (Pm2,5) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi partikulat (Pm2.5) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode MFB. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi partikulat (Pm2.5). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode MFB dapat dilihat pada **Tabel 4.10** dibawah ini:

**Tabel 4. 10.Perbandingan Data konsetrasi Pm2.5 Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MFB**

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Mi-Oi	Mi+ Oi	$\frac{Mi - Oi}{Mi + Oi}$
00:00	11	0,60	-10,40	11,60	-89,60
01:00	7,5	0,58	-6,92	8,08	-85,71
02:00	9,5	0,54	-8,96	10,04	-89,24
03:00	6	0,48	-5,52	6,48	-85,20
04:00	6,5	0,43	-6,07	6,93	-87,46
05:00	6	0,42	-5,58	6,42	-87,04
06:00	7,5	0,44	-7,06	7,94	-89,03
07:00	6	0,45	-5,55	6,45	-85,93
08:00	5	0,45	-4,55	5,45	-83,35
09:00	5	0,40	-4,60	5,40	-85,27
10:00	4	0,42	-3,58	4,42	-80,94
11:00	4,5	0,46	-4,04	4,96	-81,33
12:00	3	0,51	-2,49	3,51	-70,99
13:00	3	0,45	-2,55	3,45	-73,84
14:00	2	0,53	-1,47	2,53	-58,02
15:00	2,5	0,50	-2,00	3,00	-66,84
16:00	6,5	0,54	-5,96	7,04	-84,76
17:00	12	0,56	-11,44	12,56	-91,13

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Mi-Oi	Mi+ Oi	$\frac{Mi - Oi}{Mi + Oi}$
18:00	17	0,64	-16,36	17,64	-92,71
19:00	20,5	0,71	-19,79	21,21	-93,26
20:00	5,5	0,68	-4,82	6,18	-78,01
21:00	6	0,63	-5,37	6,63	-80,96
22:00	5	0,62	-4,38	5,62	-77,90
23:00	4	0,59	-3,41	4,59	-74,11
00:00	4,5	1,90	-2,60	6,40	-40,60
01:00	2,5	1,85	-0,65	4,35	-14,99
02:00	5	1,86	-3,14	6,86	-45,70
03:00	3,5	1,72	-1,78	5,22	-34,17
04:00	3,5	2,01	-1,49	5,51	-26,93
05:00	2	2,25	0,25	4,25	5,82
06:00	2,5	2,82	0,32	5,32	6,03
07:00	3	2,43	-0,57	5,43	-10,59
08:00	3,5	2,09	-1,41	5,59	-25,30
09:00	3	2,00	-1,00	5,00	-20,01
10:00	3	1,69	-1,31	4,69	-27,95
11:00	3	2,05	-0,95	5,05	-18,86
12:00	3	1,52	-1,48	4,52	-32,64
13:00	3	1,91	-1,09	4,91	-22,30
14:00	3,5	2,62	-0,88	6,12	-14,45
15:00	3	2,69	-0,31	5,69	-5,43
16:00	2,5	2,82	0,32	5,32	5,95
17:00	3	3,00	0,00	6,00	-0,03
18:00	8,5	2,23	-6,27	10,73	-58,40
19:00	14	2,60	-11,40	16,60	-68,64
20:00	8	2,43	-5,57	10,43	-53,48
21:00	8,5	2,57	-5,93	11,07	-53,55
22:00	4	2,60	-1,40	6,60	-21,23
23:00	3,5	2,73	-0,77	6,23	-12,39
Min	2	0,40	Jumlah		-2562,46
Mean	5,6	1,40	MFB		-106,77
Maks	20,5	3,00			
P95	105,26	105,26			
P98	102,04	102,04			

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$MFB = \frac{2}{N} \sum_{N=1}^n \left( \frac{Mi-Oi}{Mi+Oi} \right) \times 100$$

$$MFB = \frac{2}{48} \times -2562,4596$$

$$MFB = -106,77\%$$

Berdasarkan data **Tabel 4.10** menggunakan metode MFB didapatkan hasil MFB untuk perbandingan data konsetrasi partikulat (Pm2,5) keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah -106,76915%. Karena dari perhitungan nilai MFB perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memiliki nilai -106,77%. karena dari perhitungan nilai MFB perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem karena dari hasil metode perhitungan statistik nilai MFB perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem dianggap memenuhi kriteria (goal) karena berdasarkan (Boylan dan Russell, 2006). Dalam buku *Integrated Air Quality Management ASIAN Case Studies*(Oanh, 2012) yang tercantum dalam **Tabel 3.1** kriteria yang disarankan dan dianggap valid (goal) dari metode perhitungan *Mean Fractional Bias* (MFB) adalah  $PM \leq \pm 30\%$  (goal)  $PM \leq \pm 60\%$  (kriteria).

#### **4.4.3 Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi Pm2,5 di Kota Ternate Metode MFE**

Data konsentrasi partikulat (Pm2,5) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi partikulat (Pm2.5) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode MFE. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi partikulat (Pm2.5). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode MFE dapat dilihat pada **Tabel 4.11** dibawah ini:

**Tabel 4. 11.Perbandingan Data konsetrasi Pm2.5 Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate Metode MFE**

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Mi-Oi	Mi+ Oi	$\frac{ Mi - Oi }{(Mi + Oi)}$
00:00	11	0,60	10,40	11,60	89,60
01:00	7,5	0,58	6,92	8,08	85,71
02:00	9,5	0,54	8,96	10,04	89,24
03:00	6	0,48	5,52	6,48	85,20
04:00	6,5	0,43	6,07	6,93	87,46
05:00	6	0,42	5,58	6,42	87,04
06:00	7,5	0,44	7,06	7,94	89,03
07:00	6	0,45	5,55	6,45	85,93
08:00	5	0,45	4,55	5,45	83,35
09:00	5	0,40	4,60	5,40	85,27
10:00	4	0,42	3,58	4,42	80,94
11:00	4,5	0,46	4,04	4,96	81,33
12:00	3	0,51	2,49	3,51	70,99
13:00	3	0,45	2,55	3,45	73,84
14:00	2	0,53	1,47	2,53	58,02
15:00	2,5	0,50	2,00	3,00	66,84
16:00	6,5	0,54	5,96	7,04	84,76
17:00	12	0,56	11,44	12,56	91,13
18:00	17	0,64	16,36	17,64	92,71
19:00	20,5	0,71	19,79	21,21	93,26
20:00	5,5	0,68	4,82	6,18	78,01
21:00	6	0,63	5,37	6,63	80,96
22:00	5	0,62	4,38	5,62	77,90
23:00	4	0,59	3,41	4,59	74,11
00:00	4,5	1,90	2,60	6,40	40,60
01:00	2,5	1,85	0,65	4,35	14,99
02:00	5	1,86	3,14	6,86	45,70
03:00	3,5	1,72	1,78	5,22	34,17
04:00	3,5	2,01	1,49	5,51	26,93
05:00	2	2,25	0,25	4,25	5,82
06:00	2,5	2,82	0,32	5,32	6,03
07:00	3	2,43	0,57	5,43	10,59
08:00	3,5	2,09	1,41	5,59	25,30

Waktu	Pm2.5 Observasi	Pm2.5 WRFChem	Mi-Oi	Mi+ Oi	
09:00	3	2,00	1,00	5,00	20,01
10:00	3	1,69	1,31	4,69	27,95
11:00	3	2,05	0,95	5,05	18,86
12:00	3	1,52	1,48	4,52	32,64
13:00	3	1,91	1,09	4,91	22,30
14:00	3,5	2,62	0,88	6,12	14,45
15:00	3	2,69	0,31	5,69	5,43
16:00	2,5	2,82	0,32	5,32	5,95
17:00	3	3,00	0,00	6,00	0,03
18:00	8,5	2,23	6,27	10,73	58,40
19:00	14	2,60	11,40	16,60	68,64
20:00	8	2,43	5,57	10,43	53,48
21:00	8,5	2,57	5,93	11,07	53,55
22:00	4	2,60	1,40	6,60	21,23
23:00	3,5	2,73	0,77	6,23	12,39
Min	2	0,40	Jumlah		2598,08
Mean	5,6	1,40	MFE		108,25
Maks	20,5	3,00			
P95	105,26	105,26			
P98	102,04	102,04			

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$MFE = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{|Mi-Oi|}{(Mi+Oi)} \right) \times 100$$

$$MFE = \frac{2}{48} \times 2598,077623$$

$$MFE = 108,2532343\%$$

Berdasarkan data **Tabel 4.11** menggunakan metode MFE didapatkan hasil MFE untuk perbandingan data konsetrasi partikulat (Pm2,5) keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 108,25% karena dari perhitungan nilai MFB perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memiliki nilai 108,25%. Karena dari perhitungan nilai MFE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem karena dari hasil

metode perhitungan statistik nilai MFE perbandingan pemodelan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem dianggap tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena berdasarkan (Boylan dan Russell, 2006). Dalam buku *Integrated Air Quality Management ASIAN Case Studies*(Oanh, 2012) yang tercantum dalam **Tabel 3.1** kriteria yang disarankan dan dianggap valid (goal) dari metode perhitungan *Mean Fractional Error* (MFE) adalah  $PM \leq \pm 50\%$  (goal) dan  $PM \leq \pm 75\%$  (kriteria).

#### **4.5 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Sulfur Dioksida (So2) Dengan Metode RMSE**

Evaluasi terhadap So2 cukup berkembang. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan data dalam bentuk angka dan analisis statistik untuk menjawab permasalahan penelitian yang dirumuskan. Jenis penelitian kuantitatif adalah metode korelasi karena membandingkan data dari Pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan menggunakan pendekatan korelasi statistic. Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Statistik Deskriptif, yang mana menurut Statistik Deskriptif adalah data yang dikumpulkan dalam sampel yang dapat memberikan gambaran atau deskripsi karakteristik melalui nilai rata-rata, maksimum dan minimum serta RMSE (Root Mean Square Error). Mean menunjukkan nilai rata-rata sampel, sedangkan nilai minimum, nilai maksimum menunjukkan penyebaran data dari data penelitian yang digunakan sedangkan RMSE (Root Mean Square Error) merupakan metode untuk mengestimasi besarnya kesalahan pengukuran merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil pengamatan terhadap nilai sebenarnya. RMSE dapat digunakan untuk melihat tingkat keerroran dari suatu data. Formula RMSE dapat dihitung sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

Keterangan:

$y_1$  = Data observasi

$y_2$  = Data wrfchame

$n$  = Jumlah data

#### **4.5.1 Perbandingan Data Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS Konsetrasi So<sub>2</sub> di Kota Ternate Metode RMSE**

Data konsentrasi sulfur dioksida (So<sub>2</sub>) dari data observasi AQMS yang telah diolah akan dibandingkan dengan data hasil WRF-Chem yang berada dalam rentang waktu yang sama yaitu bulan Mei 02 s/d 03 2022. Prediksi konsentrasi sulfur dioksida (So<sub>2</sub>) yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk prediksi selama 2 hari menggunakan metode RSME. Hasil prediksi dalam 2 hari dalam rentang waktu 24 jam akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan verifikasi prediksi konsentrasi ozon (O<sub>3</sub>). Hasil perbandingan antara data pemodelan WRF-Chem dan data observasi AQMS dengan metode RSME dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dibawah ini:

**Tabel 4. 12.Perbandingan Data konsetrasi So<sub>2</sub> Pemodelan WRF-Chem dan Data Observasi AQMS di Kota Ternate RMSE**

Waktu	So <sub>2</sub> Observasi	So <sub>2</sub> WRFChem	Absolute Value of Error	Square of Error
00:00	7,5	0,50	7,00	49,03
01:00	6,5	0,52	5,98	35,74
02:00	5	0,54	4,46	19,86
03:00	7,5	0,54	6,96	48,41
04:00	9	0,55	8,45	71,48
05:00	6,5	0,53	5,97	35,59
06:00	5	0,49	4,51	20,31
07:00	15,5	0,49	15,01	225,15
08:00	25	0,47	24,53	601,56
09:00	31,5	0,36	31,14	969,50
10:00	36,5	0,35	36,15	1306,68
11:00	39	0,34	38,66	1494,32
12:00	37	0,35	36,65	1343,16
13:00	37	0,31	36,69	1346,49
14:00	37	0,30	36,70	1346,92
15:00	37	0,40	36,60	1339,40
16:00	36,5	0,43	36,07	1301,06
17:00	32,5	0,37	32,13	1032,20
18:00	27,5	0,46	27,04	731,38
19:00	8	0,53	7,47	55,82
20:00	6,5	0,55	5,95	35,35
21:00	5,5	0,56	4,94	24,43
22:00	8	0,54	7,46	55,60

Waktu	So2 Observasi	So2 WRFChem	Absolute Value of Error	Square of Error
23:00	5	0,54	4,46	19,89
00:00	6,5	1,89	4,61	21,25
01:00	6,5	1,93	4,57	20,85
02:00	8	1,94	6,06	36,74
03:00	4	1,63	2,37	5,64
04:00	9	1,85	7,15	51,17
05:00	5	2,08	2,92	8,53
06:00	6,5	2,74	3,76	14,14
07:00	9	2,13	6,87	47,20
08:00	19,5	1,59	17,91	320,70
09:00	27,5	1,35	26,15	683,77
10:00	31	1,20	29,80	887,78
11:00	29	1,96	27,04	730,93
12:00	31,5	1,11	30,39	923,41
13:00	35,5	1,67	33,83	1144,24
14:00	36,5	2,68	33,82	1144,02
15:00	37	2,52	34,48	1188,85
16:00	34	2,52	31,48	991,05
17:00	31	2,75	28,25	798,34
18:00	26,5	2,11	24,39	594,84
19:00	5	2,42	2,58	6,68
20:00	6,5	2,34	4,16	17,29
21:00	7,5	2,75	4,75	22,58
22:00	6,5	2,76	3,74	13,99
23:00	4	2,84	1,16	1,35
Min	4	0,30	Jumlah	23184,65
Mean	18,65	1,29	RMSE	21,98
Maks	39	2,84		
P95	105,26	105,26		
P98	102,04	102,04		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Contoh Perhitungan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_1 - y_2)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{23184,65296}{48}}$$

$$RMSE = 21,98$$

Berdasarkan data **Tabel 4.12** hasil RMSE untuk perbandingan data konsetrasi So2 keluaran model WRF-Chem dan data Observasi AQMS adalah 21,98 dapat di artikan perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem tidak valid. karena dari perhitungan nilai RMSE perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem memiliki standar error tergolong besar yaitu 21,98. Nilai RMSE dinyatakan akurat jika nilai menunjukkan tingkat nilai yang kecil. Semakin kecil nilai RMSE (mendekati nilai nol) maka semakin besar akurasi hasil prediksi yang dilakukan oleh model prediksi, begitupun sebaliknya.

#### **4.6 . Rekapitulasi Validasi Dari Metode Statistik yang Digunakan**

Dari metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi data validasi antara data model observasi AQMS dan model WRF-Chem didapatkan hasil yang memenuhi kriteria dan tidak memenuhi kriteria. Berikut rekapitulasi dari metode evaluasi statistik yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4.13** di bawah ini:

**Tabel 4. 13.Rekapitulasi Model Evaluasi Statistik**

NO	Parameter	Metode Statistik	Kriteria	Hasil	Keterangan
1	ozon	RMSE	0	47,29	Tidak memenuhi kriteria
		UPA	$\leq 25\%$	356,96%	Tidak memenuhi kriteria
		MNBE	$\leq 15\%$	4,71%	Memenuhi Kriteria
		MNGE	$\leq 35\%$	470,98%	Tidak memenuhi kriteria
2	Pm2.5	RMSE	0	5,92%	Tidak memenuhi kriteria
		MFB	Goal= $\leq \pm 30\%$	-106,77%	Memenuhi Kriteria
			Kriteria = $\leq \pm 60\%$		
		MFE	Goal= $\leq \pm 50\%$	108,25%	Tidak memenuhi kriteria
			Kriteria= $\leq \pm 75\%$		
3	So2	RMSE	0	21,98	Tidak memenuhi kriteria

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Berdasarkan **Tabel 4.13** untuk parameter ozon yang menggunakan metode statistik RMSE disimpulkan tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena hasil metode RMSE adalah 47,29 yang dimana hasil tersebut melebihi standar kriteria yang digunakan. Untuk metode statistik UPA didapatkan hasil sebesar 356.96% disimpulkan bahwa metode tersebut tidak memenuhi kriteria (tidak valid) yang dimana hasil tersebut melebihi kriteria yang digunakan.

Sedangkan untuk parameter MNBE didapatkan hasil sebesar 4,71% yang dimana disimpulkan bahwa metode MNBE memenuhi kriteria (valid) karena memenuhi

kriteria yang digunakan, sedangkan untuk metode statistik MNGE di dapatkan hasil sebesar 470,98% yang dimana disimpulkan bahwa metode tersebut tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena melebihi kriteria yang digunakan. Hal yang menyebabkan perbedaan hasil antara metode MNBE dan MNGE adalah penormalan yang digunakan oleh ke dua metode tersebut, yang dimana metode MGNE menormalkan *gross error* yang diamna kesalahan terjadi akibat tertentu seperti akibat kurang baiknya kondisi instrumen atau kesalahan kalibrasi alat. Sedangkan untuk metode MNBE menormalkan bias *error* yang dimana kesalahan terjadi akibat perkiraan rata-rata dari data yang digunakan.

Berdasarkan **Tabel 4.13** untuk parameter Pm2.5 menggunakan metode statistik RMSE di dapatkan hasil 5,92%, maka disimpulkan bahwa metode tersebut tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena melebihi standart kriteria yang digunakan.

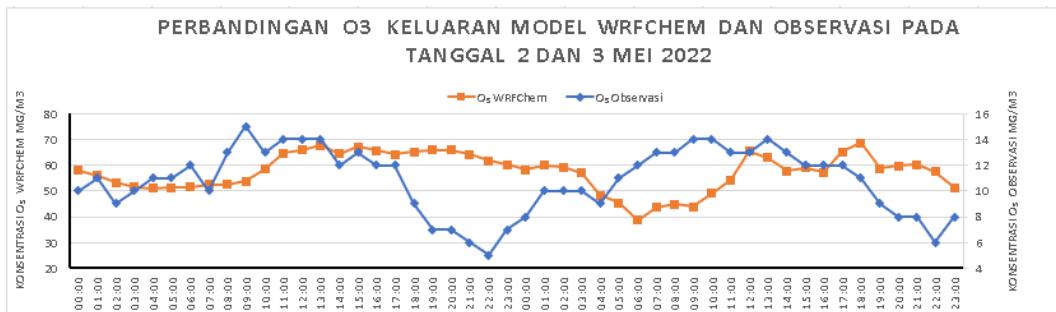
Untuk metode MFB didapatkan hasil sebesar -106,77%, maka disimpulkan bahwa metode tersebut memenuhi kriteria (valid) karena hasil yang didapatkan memenuhi kriteria. Sedangkan untuk metode statistik MFE didapatkan hasil sebesar 108,25 %, maka disimpulkan bahwa metode tersebut tidak memenuhi kriteria karena melebihi kriteria yang di gunakan. Terjadinya perbedaan hasil antara metode statistik antara MFE dan MFB terjadi karena metode MFB terjadi karena kesalahan pecahan yang terjadi karena bias, sedangkan metode MFE terjadi karena kesalahan yang diakibatkan oleh kesalahan pecahan akibat bias dalam data.

Berdasarkan Tabel 4.13 untuk parameter So2 menggunakan metode RMSE didapatkan hasil sebesar 21,98, maka disimpulkan bahwa metode tersebut tidak memenuhi kriteria (tidak valid) karena hasil yang didapatkan melebihi kriteria yang digunakan.

#### **4.7 Pola Diurnal Perbandingan Data Model WRF-Chem dan data Observasi AQMS Parameter O<sub>3</sub>, Pm<sub>2,5</sub> dan So<sub>2</sub>**

Variasi diurnal adalah salah satu komponen utama variasi atmosfer di kawasan tropis yang menimbulkan dampak terhadap siklus hidrologi dan bidang terkait. Sebagai interaksi antara daratan dan lautan sekitarnya, fenomena ini dipengaruhi oleh kondisi topografi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi diurnal dari akumulasi, frekuensi dan intensitas curah hujan dalam kaitannya dengan

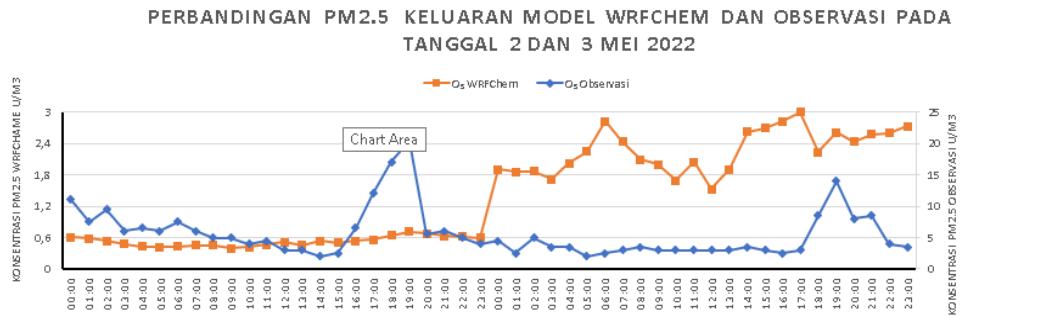
topografi. Berdasarkan pola diurnal kita dapat melihat kapan tinggi atau rendahnya suatu konsentrasi parameter dan dapat juga membandingkan besaran dari sebuah perbandingan. Perbandingan pola diurnal dari ketiga parameter dapat dilihat pada **Grafik 4.1, Grafik 4.2, dan Grafik 4.3** dibawah ini:



**Gambar 4. 1. Pola Diurnal Perbandingan O3 Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate**

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

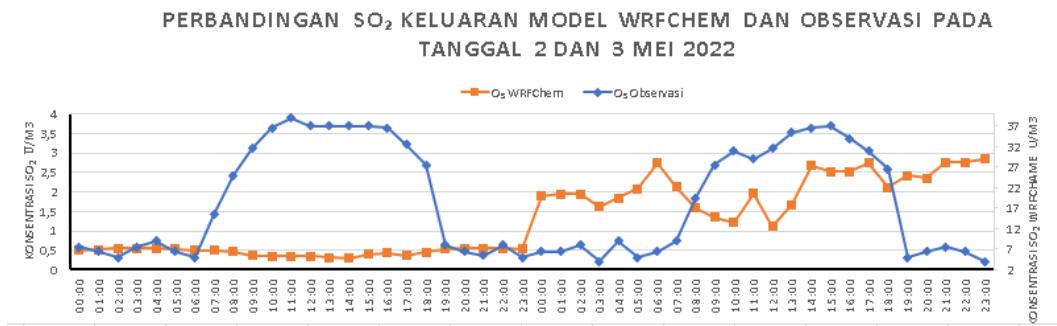
Berdasarkan **Grafik 4.1** data WRF-Chem 5x lebih besar dari data observasi AQMS, tingginya konsterasi ozon (O3) terjadi pada jam 09.00 WITA hal ini disebabkan karena pengaruh intensitas radiasi matahari yang terjadi pada jam tersebut selain itu, intensitasnya, sudut datang sinar matahari juga berpengaruh pada konsentrasi ozon di mana besarnya sudut zenith matahari membuat waktu paruh NO2 sebagai prekursor ozon menjadi semakin Panjang dan kecilnya emisi dari NOx sehingga terjadinya titrasi. Kemudian konsentrasi ozon terendah terjadi pada jam 22.00 WITA hal ini disebabkan tidak adanya pengaruh intensitas matahari pada jam tersebut.



#### **Gambar 4. 2.Pola Diurnal Perbandingan Pm2.5 Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate**

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Berdasarkan **Grafik 4.2** data WRF-Chem 5x lebih besar dari data observasi AQMS, tingginya konsterasi partikulat Pm<sub>2,5</sub>. Tingginya konsterasi Pm<sub>2,5</sub> terjadi pada jam 19.00 WITA pada ke 2 hari tersebut, hal ini terjadi karena tingginya aktivitas kendaraan pada jam tersebut di kota ternate sehingga menyebabkan tingginya kadar konsentrasi Pm<sub>2,5</sub> di kota ternate selain itu juga kecepatan angin mempengaruhi tingginya konsentrasi Pm<sub>2,5</sub>. Rendahnya konsentrasi Pm<sub>2,5</sub> terjadi pada jam 14.00 WITA pada tanggal 2 mei dan jam 04.00 Wita pada tanggal 3 mei. Berdasarkan data tersebut pada jam 14.00 WITA tidak valid karena berdasarkan sumber Pm<sub>2,5</sub> adalah emisi dari industri, dan kendaraan sehingga pada jam tersebut banyak nya aktivitas manusia yang dapat menyebabkan tingginya konsentrasi Pm<sub>2,5</sub> sedangkan untuk konsterasi pada tanggal 3 mei pada jam 04.00 WITA adalah valid jika dilihat dari sumber Pm<sub>2,5</sub> karena pada jam tersebut tidak adanya atau sedikitnya aktivitas oleh manusia.



**Gambar 4. 3.Pola Diurnal Perbandingan So<sub>2</sub> Keluaran Model WRF-Chem dan Observasi Pada Tanggal 2 dan 3 Mei di Kota Ternate**

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2022)

Berdasarkan **Grafik 4.2** data WRF-Chem 9,2x lebih besar dari data observasi AQMS, tingginya konsterasi sulfur dioksida (So<sub>2</sub>), tingginya konsentrasi So<sub>2</sub> terjadi pada jam 11.00 WITA pada tanggal 2 mei dan 15.00 WITA pada tanggal 3 mei. Tingginya konsentrasi pada jam tersebut jika dilihat berdasarkan sumber So<sub>2</sub> adalah pembakaran Bahan bakar minyak, gas, dan batu bara yang mengandung sulfur yang tinggi, maka tingginya konsentrasi So<sub>2</sub> pada tersebut karena banyaknya aktivitas masyarakat kota Ternate pada jam tersebut. Sedangkan rendahnya konsentrasi So<sub>2</sub> terjadi pada jam 02.00 WITA pada tanggal 2 mei dan 03.00 WITA pada tanggal 3 mei hal ini disebabkan karena tidak adanya aktivitas masyarakat pada jam tersebut yang mengakibatkan rendahnya konsentrasi So<sub>2</sub> pada jam tersebut.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 di kota ternate data tersebut tidak valid karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik RMSE nilai yang di dapatkan dari 3 parameter So<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan Pm2.5 sangat besar (tidak mendekati 0).
2. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 parameter O<sub>3</sub> di kota ternate data tersebut tidak valid. Karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik UPA nilai konsentrasi  $\geq \pm 25\%$ .
3. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 Parameter O<sub>3</sub> di kota ternate data tersebut valid. Karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik MNBE nilai konsentrasi  $\leq \pm 15\%$ .
4. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 parameter O<sub>3</sub> di kota ternate data tersebut tidak valid. Karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik MNGE nilai konsentrasi  $\geq \pm 35\%$ .
5. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 parameter Pm2.5 di kota ternate data tersebut valid memenuhi kriteria (goal). Karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik MFB nilai konsentrasi  $\leq \pm 60\%$ .
6. Berdasarkan nilai perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem yang dilakukan pengukuran selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2022 parameter Pm2.5 di kota ternate data tersebut tidak valid. Karena berdasarkan uji metode menggunakan metode statistik MFE nilai konsentrasi  $\geq \pm 50\%$  (goal) dan  $\geq \pm 75\%$  (kriteria).

7. Berdasarkan hasil rata – rata per 1 jam nilai konsentrasi dari tiga parameter yaitu So<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, dan Pm2.5 didapatkan hasil nilai konsentrasi tertinggi untuk parameter O<sub>3</sub> terjadi pada 02 meidan 03 mei pada jam 14.00 yaitu sebesar 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . sedangkan untuk parameter Pm<sub>2,5</sub> nilai konsentrasi terjadi terjadi pada jam19.00 pada tanggal 02 mei 2022 dan jam19.00 pada tanggal 03 mei 2022 yaitu sebanyak 20,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . untuk parameter So<sub>2</sub> nilai konsentrasi tertimnggi terjadi pada jam11.00 pada tanggal 02 mei 2022 dan jam14.00 pada tanggal 03 mei 2022 yaitu sebanyak 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
8. Berdasarkan hasil grafik pola diurnal parameter O<sub>3</sub> didapatkan hasil data WRF-Chem 5x lebih besar dari data observasi AQMS, sedangkan untuk parameter Pm2.5 didapatkan hasil data WRF-Chem 5x lebih besar dari data observasi AQMS dan untuk parameter So<sub>2</sub> didapatkan hasil data AQMS 9,2x lebih besar dari data WRF-Chem.
9. Tingginya nilai hasil RMSE dari perbandingan antara data observasi AQMS dan data WRF-Chem dari tiga parameter yang di uji O<sub>3</sub>, So<sub>2</sub>, dan Pm2.5 maka perbandingan antara ke dua data tersebut tidak valid karena tidak mendekati nilai 0. Sehingga data tersebut tidak dapat di rekomendasikan sebagai data pengendalian pencemaran udara.
10. Berdasarkan hasil pemantauan yang dilakukan selama 2 hari yaitu 02 mei – 03 mei 2021 kota Ternate menggunakan parameter O<sub>3</sub>, Pm<sub>2,5</sub> dan So<sub>2</sub>. Perbandingan antara data model AQMS dan data model WRF-Chem tidak valid karena berdasarkan pengujian metode statistik yang digunakan yaitu metode RMSE, MNGE, MNBE, UPA, MFB dan MFE tidak memenuhi kriteria yang digunakan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pola diurnal dan pengujian metode statistik RMSE dari ke tiga parameter yang di uji yaitu O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, dan Pm2.5 didapatkan nilai RMSE yang besar dan selain itu juga, berdasarkan pengujian menggunakan metode UPA dan MNGE nilai yang dihasilkan lebih besar dari kriteria. Akan tetapi di metode statistik MNBE nilai parameter ozon memenuhi kriteria. Pada pengujian metode statistik menggunakan metode MFE nilai yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria sedangkan pada pengujian metode MFB pada parameter Pm2.5 memenuhi kriteria. Ketidak samaan hasil tersebut membuktikan tidak valid nya perbandingan dari kedua model data tersebut, data dianggap valid jika semua nilai memenuhi kriteria yang sudah dietentukan. Sehingga perlu di lakukan penelitian lebih lanjut sehingga data tersebut dapat dijadikan acuan sebagai salah satu cara pemeriksaan pengendalian pencemaran udara di kota Ternate. Rekomendasi untuk meningkatkan kualitas pemodelan kualitas udara dapat dilakukan dengan memperbaiki cakupan data inventori untuk setiap parameter yang digunakan.

Selain itu rekomendasi saran agar meningkatkan kualitas pemodelan sebagai berikut:

- Untuk pemodelan resolusi bisa ditingkatkan dengan menggunakan skema *Veshj* dan disarankan untuk menggunakan data inventarisasi local.
- Untuk Ozon, tingginya hasil pemodelan bisa diakibatkan oleh terlalu kecilnya emisi dari NOx dan juga VOC yang mengakibatkan hasil model *over estimate*.
- Diperlukanya pengolahan data emisi dan memperhatikan profil emisi sumber untuk komponen di Pm dan VOC, misalnya PNO<sub>3</sub>, PSO<sub>4</sub>, BC, OC, dan spesialisasi dari VOC seperti (*Soprene, Monoterphene, Xylen* dll).

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, D. (2013). Data dan Metode Pengumpulan Data Penelitian. *Surakarta: Politeknik Kesehatan Surakarta*.
- Amin, N. (2011). Optimasi sistem pencahayaan dengan memanfaatkan cahaya alami (Studi kasus lab. elektronika dan mikroprosesor UNTAD). *Foristek*, 1(1), 43-50.
- Boylan, J. W., dan Russell, A. G. (2006). PM and light extinction model performance metrics, goals, and criteria for three-dimensional air quality models. *Atmospheric environment*, 40(26), 4946-4959.
- Cahyono, T. (2017). Penyehatan Udara. Yogyakarta: Andi.
- Cahyono, W. E. (2016). *Penyebaran pencemar udara di kota yogyakarta*. Paper presented at the Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek).
- Dittia, R. (2017). *Pengaruh Arah Angin terhadap Konsentrasi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) pada Udara Roadside di Kota Padang*. Universitas Andalas.
- Faisal, I., dan Sofyan, A. ANALISIS PENGARUH VARIASI MUSIMAN TERHADAP DISPERSI NO<sub>2</sub> DI KOTA TANGERANG DENGAN MENGGUNAKAN MODEL WRF-CHEM SEASONAL VARIATION EFFECT ON NO<sub>2</sub> DISPERSION IN TANGERANG USING WRF-CHEM MODEL.
- Gunarsih, A. (2016). Klimatologi: Pengaruh Iklim Terhadap Tanah Dan Tanaman, Edisi Revisi.
- Holton, J. R., dan Hakim, G. (2012). An Introduction to Dynamic Meteorology, 5 th: Cambridge university press.
- Indarwati, S., Respati, S. M. B., dan Darmanto, D. (2019). Kebutuhan daya pada air conditioner saat terjadi perbedaan suhu dan kelembaban. *Majalah Ilmiah Momentum*, 15(1).
- Ismiyati, I., Marlita, D., dan Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTansLog)*, 1(3), 241-248.
- Katz, J. (1980). Ozone and chlorine dioxide technology for disinfection of drinking water.
- KURNIA, L. A. (2013). *Analisis Risiko Paparan Debu PM 2, 5 terhadap Kejadian Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) pada Pekerja Bagian Boiler Perusahaan Lem di Probolinggo*. UNIVERSITAS AIRLANGGA.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., dan Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*: John wiley & sons.
- Mukono, H. (2004). Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan dalam Agustina, 2011 Hubungan Antara Higiene Penjamah dan Sanitasi Makanan dengan Keberadaan Bakteri Escherichia Coli: Skripsi. Jurusan Kesehatan Ilmu Masyarakat. Universitas Negeri Semarang.
- Oanh, N. T. K. (2012). *Integrated Air Quality Management: Asian Case Studies*: CRC Press.

- Oktora, B. (2008). Hubungan antara Kualitas Fisik Udara dalam Ruang (Suhu dan Kelembapan Relatif Udara) dengan Kejadian Sick Building Syndrome (SBS) pada Pegawai Kantor Pusat Perusahaan Jasa Konstruksi X di Jakarta Timur Tahun 2008. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Pohan, N. (2002). Pencemaran udara dan hujan asam.
- Prabowo, K., dan Muslim, B. (2018). Penyehatan udara. *Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Bandan Pengembangan Dan Pemberadaaan Sumber Daya Manusia Kesehatan*.
- Pradika, D. Z. (2011). Pengaruh paparan debu total di tempat kerja terhadap fungsi paru karyawan di Pt. Marunda Grahamineral job site laung tuhup Kalimantan Tengah.
- Prilila, G. F., Wardhana, I. W., dan Sutrisno, E. (2016). *Estimasi Sebaran Dan Analisis Risiko Tsp Dan Pb Di Terminal Bis Terhadap Kesehatan Pengguna Terminal (Studi Kasus: Terminal Mangkang Dan Penggaron, Semarang)*. Diponegoro University.
- Ratnani, R. (2008). Teknik pengendalian pencemaran udara yang diakibatkan oleh partikel. *Majalah Ilmiah Momentum*, 4(2).
- Riani, P. D. (2017). *Gambaran Kualitas Udara Ambien (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TSP) Terhadap Keluhan Subyektif Gangguan Pernapasan pada Pedagang Tetap di Kawasan Terminal Bus Kampung Rambutan Jakarta Timur Tahun 2017*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta: Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, 2017.
- Riskawati, R. (2016). *Isolasi dan karakterisasi bakteri patogen pada tanah di lingkungan tempat pembuangan akhir sampah (TPAS) kota Makassar*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Riwanto, M., dan Sani, F. M. (2017). Analisis Risiko Kesehatan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (No<sub>2</sub>) pada Petugas Parkir di Basement Plaza Andalas. *Jurnal Kesehatan*, 8(3), 441-448.
- Romansyah, M. (2019). *Analisis korelasi karbon monoksida (CO) dan particullate metter (PM10) dengan kendaraan bermotor dan faktor yang berhubungan (studi kasus pasar induk tradisional Bojonegoro)*. UIN Sunan Ampel.
- Rusdi, U. D., dan Suliasih, N. (2002). Ozonisasi dan kualitas air susu. *Bionatura*, 4(2).
- Saidal Siburian, M., dan Mar, M. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*: Kreasi Cendekia Pustaka.
- Sarwono, J. (2006). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif.
- Soedomo, M. (2001). Pencemaran udara. Bandung: ITB.
- Williams, R. (2016). Patient safety.
- Winata, B. P. (2020). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Jalan Malioboro Yogyakarta.
- Yulianti, S. (2014). Analisis konsentrasi gas Karbon Monoksida (CO) pada ruas Jalan Gajah Mada Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1).

# **LAMPIRAN**

# **LAMPIRAN I**

Surat Penerimaan Kerja Praktek



## PUSAT RISET IKLIM DAN ATMOSFER

Jalan Dr. Djundjunan No. 133, Bandung 40173  
Surel: pria@brin.go.id Laman: www.brin.go.id

Nomor : B-8233/III.4.3/TU.05.01/7/2022  
Sifat : Biasa  
Lampiran : -  
Hal : Balasan Permohonan Kerja Praktik

Bandung, 29 Juli 2022

Yth. Kaprodi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Nasional  
Jl PHH. Mustofa No. 23  
Bandung

Menindaklanjuti Surat Kaprodi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional, Nomor: 442/A.06/TL-FTSP/Itenas/VI/2022, tanggal 28 Juni 2022, perihal : Permohonan Izin Kesediaan Tempat Kerja Praktik atas nama :

Nama	NRP	Topik
Taufik Rizki Ramadhan	252019106	Validasi Perbandingan Data Model WRF Chem dan Data Observasi Kualitas Udara

Kami bersedia menerima pelaksanaan magang di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer - Organisasi Riset Kebumian dan Maritim (PRIMA-ORKM), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) secara luring dan daring (disesuaikan dengan kebutuhan tugas) dengan tetap melaksanakan Protokol Kesehatan, terhitung mulai **1 Agustus s.d 16 September 2022** dengan pembimbing, atas nama **Dra. Sumaryati, M.T., 196706121994032004, Peneliti Ahli Madya.**

Selanjutnya Peserta bimbingan dan pembimbing tersebut diatas wajib melengkapi pendaftaran pada sistem Elektronik Layanan Sains (elsa) melalui tautan berikut : <https://elsa.brin.go.id/layanan/index/Pemagangan%20Siswa%20dan%20Mahasiswa/2595>

Demikian kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terimakasih.

Kepala Pusat Riset Iklim dan Atmosfer,



Dr. Albertus Sulaiman  
NIP. 197004281998031003

Tembusan :  
1. Kepala instansi;  
2. Kepala Biro Kepegawaian pada instansi.



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSxE, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

## **LAMPIRAN II**

Surat Perjanjian Magang

**SURAT PERJANJIAN  
PELAKSANAAN KEGIATAN MAGANG/PKL SISWA/MAHASISWA  
DI BRIN**

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : Dr. Sumaryati, M.T.  
NIP : 196706121994032004  
Jabatan : Peneliti Ahli Madya  
Sebagai peneliti pelaksana tugas pembimbingan mahasiswa PKL dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama BRIN untuk selanjutnya disebut sebagai PIHAK PERTAMA.
2. Nama : Taufik Rizki Ramadhan  
NIM : 252019106  
Institusi : Institut Teknologi Nasional Bandung  
dalam hal ini bertindak untuk dan atas pribadi untuk selanjutnya disebut sebagai PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA telah sepakat atas perjanjian sebagai berikut :

**Pasal 1  
UMUM**

PIHAK PERTAMA akan melakukan proses pembimbingan terhadap PIHAK KEDUA dalam melaksanakan kegiatan Magang/PKL di BRIN selama periode : 1 Agustus – 12 September 2022

**Pasal 2  
HAK DAN KEWAJIBAN**

1. PIHAK PERTAMA sesuai dengan kapasitas dan kemampuan yang dimiliki akan membantu pelaksanaan kegiatan PKL PIHAK KEDUA di BRIN sampai akhir kegiatan. Bantuan yang diberikan meliputi penggunaan sarana prasarana, penyediaan bahan pendukung, layanan jasa analisis dan konsultasi penelitian terkait.
2. PIHAK KEDUA akan melaksanakan pelaksanaan kegiatan Magang/PKL di BRIN dengan sebaik-baiknya sesuai arahan dan koordinasi PIHAK PERTAMA.
3. PIHAK KEDUA berkewajiban mengikuti semua peraturan yang berlaku di BRIN dan semua ketentuan lain yang dikeluarkan oleh pimpinan BRIN. Apabila disengaja atau tidak sengaja melakukan kegiatan yang melanggar hukum yang berlaku umum seperti tindak pidana, penyalahgunaan narkoba, asusila dan hal lain yang sesuai norma hukum, PIHAK KEDUA bersedia diberhentikan secara sepihak dari kegiatan Magang/PKL di BRIN.

4. PIHAK KEDUA menyanggupi menyelesaikan semua kewajiban yang harus diselesaikan termasuk mengembalikan atau mengganti barang yang menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA sebelum menyerahkan laporan akhir kegiatan PKL.

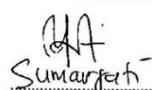
**Pasal 3**  
**HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL**

PIHAK KEDUA dibantu secara penuh oleh PIHAK PERTAMA dalam pelaksanaan Magang/PKL, semua invensi atau berbagai bentuk Hak Kekayaan Intelektual lainnya yang dikembangkan dan/atau didapat dari kegiatan ini menjadi milik PIHAK PERTAMA dan oleh karena itu maka penggunaan, penyebarluasan, dan/atau perbanyakannya hasil tersebut di atas kepada pihak lain untuk keperluan apapun harus atas dasar izin dan rekomendasi yang telah disetujui dan dikeluarkan oleh PIHAK PERTAMA.

Demikian Surat Perjanjian ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan tanpa ada campur tangan dan atau paksaan dari pihak manapun.

Bandung, 1 Agustus 2022

**PIHAK PERTAMA**

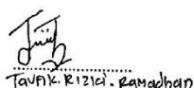
  
Sumarjati

Kepala Satuan Kerja



Dr. Albertus Sulaiman  
NIP. 197004281998031003

**PIHAK KEDUA**

  
Taufiq Rizqi Ramadhan

Dosen Pembimbing

  
Dr. Eng. Didin Agoek-  
Permodi, S.T, M.Eng



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSiE, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

## **LAMPIRAN III**

From Penilaian Kerja Praktik Oleh Perusahaan

### **Form Penilaian Praktik Kerja oleh Perusahaan**

Nama : Taufik Rizki Ramadhan  
NRP : 25-2019-106  
Tempat Kerja Praktek : Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN)  
Periode Kerja Praktek : 01 Agustus 2022 – 16 September 2022  
Nama Pembimbing Lapangan : Dra. Sumaryati, M.T.

No.	Kompetensi	Nilai (skala 0 – 100)	Keterangan
1	Menguasai prinsip-prinsip dasar/konsep teori sains alam dan aplikasi matematika*	85	
2	Menguasai proses pencegahan pencemaran lingkungan, prinsip dasar teknologi pengendalian lingkungan, dan konsep aplikasinya*	80	
3	Mengaplikasikan teknologi untuk mengendalikan dan menyelesaikan permasalahan lingkungan*	85	
4	Kemampuan Manajemen diri (waktu, tugas)	68	
5	Kemauuan belajar/mengembangkan diri	75	
6	Kemampuan komunikasi lisan dan tulisan	75	
7	Kemampuan bekerja dalam kelompok	78	
8	Kemampuan mengatasi/ menyelesaikan masalah	80	
9	Kemampuan berinisiasi / kewirausahaan	80	
10	Kemampuan dalam perencanaan dan pengorganisasian pekerjaan/tim kerja	70	

\*Disesuaikan dengan topik dan bidang praktik kerja.

#### Catatan tambahan:

Beberapa poin penilaian tidak terkait langsung dengan apa yang dikerjakan selama praktik kerja, sehingga penilaian hanya perkiraan selama berinteraksi dengan mahasiswa

Bandung, 5 Mei 2023

Penilai



Dra. Sumaryati, MT



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSRI, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

# **LAMPIRAN IV**

Dokumentasi

