

## **Analisis Pencemaran Udara di Simpangan Bersinyal menggunakan Box Model (Studi Kasus Simpang Bersinyal Jl. Frans Seda)**

**Sri Santi Seran<sup>1</sup>, Sebastianus Baki Henong<sup>2</sup>, Octovianus Edvict Semiun<sup>3</sup>,  
Agustinus H. Pattiraja<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Prodi Teknik Sipil, Universitas Katolik Widya Mandira  
e-mail: santi.seran8@gmail.com<sup>1</sup>, sebasthenong00@gmail.com<sup>2</sup>,  
oktovianusedvict@gmail.com<sup>3</sup>, gustiwre@gmail.com<sup>4</sup>

### **Abstrak**

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh factor internal dan factor eksternal. Faktor internal adalah sumber pencemaran yang berasal dari bumi sendiri yang terjadi secara alamiah, Pencemaran eksternal adalah pencemaran yang terjadi akibat aktivitas manusia. Meningkatnya angka kepemilikan kendaraan roda dua maupun roda empat memberi pengaruh yang signifikan terhadap jumlah emisi gas buang yang dilepaskan ke udara. Peningkatan angka kepemilikan kendaraan di Kota Kupang dalam beberapa tahun terakhir sangat signifikan. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan studi kasus pencemaran udara pada titik titik yang ditinjau yaitu Simpang Bersinyal Jalan Frans Seda Data lalu lintas diperoleh dengan melakukan survey pada jam sibuk yaitu pada jam 7 – 8 pagi, jam 11.00 – 13.00 siang dan jam 17.00 – 21.00 malam, Menghitung Tingkat Pencemaran udara menggunakan Metode Box Model. Dari hasil analisis, total gabungan jenis – jenis kendaraan untuk parameter CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HC dan PM<sub>10</sub> diperoleh CO sebesar 116,546 µg/m<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> sebesar 137,022µg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> sebesar 5.866µg/m<sup>3</sup>, HC sebesar 136,666µg/m<sup>3</sup> dan PM<sub>10</sub> sebesar 899,622µg/m<sup>3</sup>. Dari hasil pemantauan kualitas udara, terhadap kelima parameter, dapat dilihat pada semua kondisi melebihi baku mutu sesuai yang disyaratkan dalam PP 41 Tahun 1999, yaitu hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub>. Pemantauan kualitas udara di Kota Kupang yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa kondisi kualitas udara ambien masih memenuhi baku mutu, hanya di beberapa titik pemantauan dimana nilai parameter kualitas udara melebihi baku mutu, dan pada periode tertentu ketika terjadi kepadatan aktivitas penduduk.

**Kata Kunci:** *Pencemaran Udara, Box Model, Simpangan Bersinyal*

### **Abstract**

Internal factors and external factors can cause air pollution. Internal factors are sources of pollution that come from themselves that occur. Naturally, External pollution is pollution that occurs due to human activities. The increase in the number of ownership of two-wheeled and four-wheeled vehicles significantly affects the number of exhaust emissions that come out into the air. In recent years, the rise in vehicle ownership in Kupang City has been very substantial. This research was conducted with a case study approach to air pollution at the points reviewed, namely the signalized intersection of Jalan Frans Seda. Traffic data was obtained by surveying during peak hours, namely at 7 - 8 am, 11.00 - 13.00 noon, and 5.00 - 9.00 pm. They were calculating the level of air pollution using the Box Model Method. From the results of the analysis, the combined total vehicle types for parameters CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HC, and PM<sub>10</sub> obtained CO of 116.546 g/m<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> of 137,022µg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> of 5.866µg/m<sup>3</sup>, HC of 136,666µg/m<sup>3</sup> and PM<sub>10</sub> of 899.622µg/m<sup>3</sup>. From the air quality monitoring results, the fifth parameter can be seen in all conditions exceeding the quality standards as required in PP 41 of 1999, namely vulnerability (HC), carbon monoxide (CO), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and PM<sub>10</sub>. Air quality monitoring in Kupang City that has been carried out shows that environmental air conditions still meet the quality standards, only at some monitoring points where the air

quality parameter values exceed the quality standard and at specific periods when population activity is dense.

**Keywords :** *Air Pollution, Box Model, Signal Deviation*

## **PENDAHULUAN**

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh factor internal dan factor eksternal. Faktor internal adalah sumber pencemaran yang berasal dari bumi sendiri yang terjadi secara alamiah, misalnya partikel pencemar yang disebabkan oleh letusan gunung berapi, penyebaran debu oleh tiupan angin, gas berbau yang berasal dari proses pembusukan oleh mikroorganisme dan lain sebagainya. Pencemaran eksternal adalah pencemaran yang terjadi akibat aktivitas manusia, misalnya masuknya polutan ke dalam udara yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil pada industri dan kendaraan bermotor, penyebaran partikel yang berasal dari kegiatan industri pembebasan zat berbahaya dalam bentuk zat kimia berbahaya ke udara oleh kegiatan bidang teknologi dan lain sebagainya.

Di Indonesia telah dibuat undang – undang dan peraturan pemerintah yang mengatur baku mutu udara. Dengan pertimbangan bahwa udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lain, harus dijaga dan dipelihara kelestariaan dan fungsinya untuk memelihara kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lain. Agar udara dapat bermanfaat sebesar – besarnya bagi pelestarian fungsi lingkungan hidup, maka udara perlu dijaga, dan dijamin mutunya melalui pengendalian pencemaran udara. (Situmorang, 2017)

Meningkatnya angka kepemilikan kendaraan roda dua maupun roda empat memberi pengaruh yang signifikan terhadap jumlah emisi gas buang yang dilepaskan ke udara. Peningkatan angka kepemilikan kendaraan di Kota Kupang dalam beberapa tahun terakhir sangat signifikan. Tercatat angka kepemilikan kendaraan bermotor pada tahun 2020 sebanyak 197.211 unit sepeda motor, 15.661 unit kendaraan mobil penumpang, 268 unit bus dan 7.107 unit truk (Kota Kupang Dalam Angka 2020). Dengan terus meningkatnya jumlah kendaraan akan berpengaruh terhadap emisi yang dilepaskan kendaraan ke udara.

Simpangan bersinyal merupakan simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (traffic light) (MKJI, 1997). Simpang bersinyal merupakan tempat kendaraan berhenti untuk memberikan jalan kepada kendaraan dari arah lain dan bersiap untuk bersiap untuk melanjutkan perjalanan pada ruas jalan yang lain. Pada titik ini kendaraan akan berhenti minimal selama 3 menit. Selama 3 menit panjang antrian kendaraan yang tercipta bias mencapai 10 sampai 15 meter. Untuk simpang dengan mobilitas dan arus lalu lintas tinggi dan pada jam sibuk jumlah kendaraan tiap lengan bisa mencapai 30 – 50 kendaraan tiap lengan. Selama waktu ini kendaraan yang berhenti akan secara serempak melepaskan emisi pada satu titik yang sama, dengan demikian akan menghasilkan polusi kendaraan bermotor yang terkonsentrasi pada satu titik. Dengan melihat fenomena ini maka peneliti tertarik untuk menganalisa pencemaran udara akibat emisi kendaraan menggunakan Metode Box Model dengan mengambil titik studi pada Simpang bersinyal Jl. Frans Seda.

### **Sumber Pencemaran Udara**

Pencemaran udara didefinisikan sebagai kehadiran zat – zat kimia atau bahan pencemar lain ke dalam atmosfer yang dapat menyebabkan perubahan terhadap komposisi udara. Sehingga menyimpang dari keadaan normal. Beberapa contoh pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas manusia sehari – hari adalah dihasilkan partikel pencemar yang berasal dari buangan kendaraan bermotor yaitu berupa gas beracun seperti senyawa oksida nitrogen ( NO dan NO<sub>2</sub>), gas karbon monoksida (CO), senyawa organik, timbal dan lain sebagainya. Peningkatan bahan pencemar di udara adalah setara dengan peningkatan konsumsi atau pembakaran bahan bakar fosil (minyak dan batu bara). Beberapa industri seperti industri kimia, industri kertas, industri semen, industri makanan dan lainnya juga termasuk dalam sumber pencemar udara. (Situmorang 2017).

Namun sektor transportasi merupakan penyumbang 80% pencemaran udara di daerah perkotaan di Indonesia. Pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor antara lain adalah NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, Pb, hidrokarbon, dan partikulat (Mukono, 1997). Pada pengukuran tahun 2007, konsentrasi debu di beberapa lokasi masih melebihi batas baku mutu udara ambien.

Untuk konsentrasi gas yang melebihi batas yaitu gas NO<sub>2</sub> pada bulan April 2007 yang mencapai angka 0,0667 ppm. Angka tersebut melebihi nilai baku mutu udara ambien yaitu 0,05ppm (BTKL, 2007). Polutan udara tersebut dapat mengakibatkan berbagai macam gangguan kesehatan terutama gangguan pada saluran pernafasan. Polutan udara yang dapat mengakibatkan gangguan pada saluran pernafasan adalah gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, formaldehid, ozon, dan partikel debu. Polutan tersebut bersifat mengiritasi saluran pernafasan yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi paru. Gas SO<sub>2</sub> dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran pernafasan bagian atas karena mudah larut dalam air yang mengakibatkan produksi lendir meningkat sehingga terjadi penyempitan pada saluran pernafasan. Nitrogen dioksida bersifat iritan dan radikal. Gas NO<sub>2</sub> termasuk salah satu gas utama dalam reaksi kimia di atmosfer karena dapat menghasilkan ozon di lapisan troposfer setelah bereaksi dengan sinar ultraviolet. (Sandra, 2013)

### **Simpangan Bersinyal**

Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (traffic light). Berdasarkan MKJI 1997, adapun tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (traffic light) pada persimpangan antara lain: a. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu-lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu-lintas jam puncak. b. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama. c. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu- lintas akibat tabrakan antara kendaraan dari arah yang bertentangan. Ukuran kualitas dari kinerja simpang adalah dengan menggunakan variable sebagai berikut. Arus Lalu Lintas (Q). Arus lalu lintas (Q) untuk setiap arus gerakan kendaraan ringan, kendaraan berat, dan sepeda motor (QLV, QHV, dan QMC) dikonversi dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per jam dengan menggunakan ekuivalen kendaraan penumpang (emp) untuk masing-masing pendekatan terlindung dan terlawan.

### **Metode Box Model**

Box model digunakan untuk menduga rata-rata konsentrasi polutan di suatu daerah, yang disumsikan sebagai kotak dimana sumber emisi tersebar merata di permukaan bawah kotak. Selanjutnya, polutan dibawa dan didistribusikan dari daerah sumber oleh gerak lateral sesuai dengan arah angin. Model ini menganggap suatu wilayah dan kota sebagai suatu kotak. Yang didalam kotak tersebut terjadi sebuah aktivitas yang menghasilkan gas emisi (Hassan dan Crowther, 1998). Box Model layak digunakan untuk gas CO, SO<sub>2</sub> dan partikulat (debu) yang secara kimia stabil. Namun asumsi ini tidak tepat digunakan untuk Hidrokarbon (HC) dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) yang mendorong terbentuknya photochemical smog (Satria, 2006).

Model. Box model digunakan untuk menduga rata-rata konsentrasi pencemar di suatu daerah yang diasumsikan sebagai kotak dimana sumber emisi tersebar merata di permukaan bawah kotak. Model ini menganggap suatu wilayah atau kota sebagai suatu kotak. Di dalam kotak tersebut terjadi aktivitas yang menghasilkan emisi. Model ini memperhitungkan faktor meteorologi berupa arah dan kecepatan angin, serta tinggi pencampuran (mixing height).

Box model mengikuti persamaan kesetimbangan massa dengan rumus laju akumulasi sama dengan laju semua aliran masuk dikurangi laju semua liran keluar, ditambah laju pembentuk dikurangi laju penghilangan

$$C = (\Delta x \times Q) / (L \times U)$$

Dengan keterangan:

$C$  =Konsentrasi,  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\Delta x$  =luas daerah  
tinjauanq = Berat emisi,  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $L$  = mixing height, m  
 $\bar{u}$  = kecepatan rata angin, m/dt.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan studi kasus pencemaran udara pada titik titik yang ditinjau yaitu Simpang Bersinyal Jalan Frans Seda Data lalu lintas diperoleh dengan melakukan survey pada jam sibuk yaitu pada jam 7 – 8 pagi, jam 11.00 – 13.00 siang dan jam 17.00 – 21.00 malam,

Menghitung Tingkat Pencemaran udara menggunakan Metode Box Model. Data yang dikumpulkan bersifat kualitatif dan kuantitatif, meliputi data fisik wilayah, data penduduk dan data kondisi pengelolaan pencemaran udara. Analisis data dilakukan dengan cara menganalisis beban mencemar dengan menggunakan data hasil survey lalu lintas pada jam sibuk yaitu pada jam 7 – 8 pagi, jam 11.00 – 13.00 siang dan jam 17.00 – 21.00 malam, dan data lain yang dibutuhkan sesuai parameter dalam persamaan Box Model.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Gambaran Lokasi

Lokasi Penelitian adalah Perempatan Jl. Fran Seda, Jl. Veteran dan Jl. Thamrin. Lokasi ini berada pada  $10^{\circ}09'39''$  LS dan  $123^{\circ}36'46''$  BT. Lokasi ini termasuk dalam Kelurahan Fatululi, Kecamatan Kelapa Lima Kota Kupang.



**Gambar 1** Pempatan Patung KirabSumber : Google Earth

Jumlah Penduduk Kota Kupang pada tahun 2020 berjumlah 442.758 jiwa (kupangkota.bps.go.id) dengan rincian Kecamatan Alak berjumlah 76.908 jiwa, Kecamatan Maulafa 97.976 jiwa, Kecamatan Oebobo 100.560 jiwa, Kecamatan Kota Raja 57.121 jiwa, Kecamatan Kelapa Lima 75.468 jiwa dan Kecamatan Kota Lama 34.725 Jiwa. Dengan laju pertumbuhan penduduk antara tahun 2015 sampai 2020 sebesar 0.62 % maka dengan menggunakan Metode Geometric didapatkan proyeksi pertumbuhan penduduk pada tahun 2025 sebesar 456.655 jiwa dan pada tahun 2030 sebesar 470.988 jiwa.

### Data Lalu Lintas Pada Simpang Kirab

Data lalu lintas diperoleh dari hasil survey, dapat dilihat pada table di bawah ini: **Tabel table 1 Data Arus Lalu Lintas dan Panjang Antrian saat Pagi**

| Lokasi                           | Total Kendaraan Pagi |      |      |
|----------------------------------|----------------------|------|------|
|                                  | HV                   | LV   | MC   |
| Jl. Frans Seda (Liliba - Oebobo) | 16                   | 1113 | 1748 |
| Jl. Frans Seda (Oebobo - Liliba) | 5                    | 648  | 1894 |
| Jl. Thamrin - Jl. Veteran        | 6                    | 114  | 587  |
| Jl. Veteran - Jl. Thamrin        | 6                    | 134  | 332  |

Sumber :Hasil Survey

### Tabel 2 Data Arus Lalu Lintas dan Panjang Antrian saat Siang

| Lokasi                           | Total Kendaraan Pada siang |      |      |
|----------------------------------|----------------------------|------|------|
|                                  | HV                         | LV   | MC   |
| Jl. Frans Seda (Liliba - Oebobo) | 83                         | 1019 | 1265 |
| Jl. Frans Seda (Oebobo - Liliba) | 83                         | 1236 | 2101 |
| Jl. Thamrin - Jl. Veteran        | 23                         | 266  | 663  |
| Jl. Veteran - Jl. Thamrin        | 31                         | 463  | 676  |

Sumber :Hasil Survey

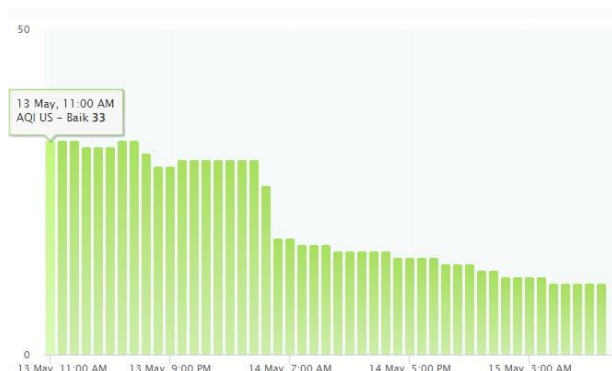
### Tabel 3 Data Arus Lalu Lintas dan Panjang Antrian saat Malam

| Lokasi                           | Total Kendaraan Pada Malam |      |      |
|----------------------------------|----------------------------|------|------|
|                                  | HV                         | LV   | MC   |
| Jl. Frans Seda (Liliba - Oebobo) | 83                         | 1265 | 2420 |
| Jl. Frans Seda (Oebobo - Liliba) | 70                         | 1754 | 3109 |
| Jl. Thamrin - Jl. Veteran        | 9                          | 417  | 1190 |
| Jl. Veteran - Jl. Thamrin        | 19                         | 1143 | 1361 |

Sumber : Hasil Survey

### Kondisi Udara Ambien Kota Kupang

Kondisi udara ambien Kota Kupang dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Sumber : *iqair.com*

**Gambar 2. Grafik Kualitas Udara di Kota Kupang**

### Emisi Pencemar Udara dan GRK

Pada lokasi yang ditinjau sumber pencemar yang terdefinisi diklasifikasikan menjadi sumberbergerak dan tidak bergerak. Sumber tidak bergerak dibagi dalam 3 golongan yaitu sumber titik dan sumber area. Berdasarkan hasil tinjauan diketahui bahwa inventarisasi pencemar udaradilakukan terhadap :

1. Sumber bergerak : kendaraan on the road, terminal bis antar kota
2. Sumber Titik : rumah sakit, hotel, dan mall
3. Sumber area : rumah tangga, area konstruksi

Pada inventarisasi pencemar udara dari berbagai sumber ini, perhitungan emisi hanya dilakukan terhadap sumber pencemar yang berasal dari aktivitas transportasi, khususnya di Perempatan Patung Kirab.

### Kondisi Meteorologi Kota Kupang

Dispersi pencemar udara sangat dipengaruhi kondisi meteorologi seperti :

1. Arah dan kecepatan angin dalam tiga dimensi
2. Stabilitas atmosfer yang merupakan fungsi dari kecepatan angin dan gradient temperature
3. Kelembaban (pembasuhan oleh hujan)
4. Radiasi matahari

Kondisi meteorologi diperlukan dalam perhitungan Box Model adalah suhu berdasarkan ketinggian lokasi, kecepatan angin rata – rata dan arah angin dominan.

#### 1. Suhu

Suhu di Kota Kupang berdasarkan data BPS Propinsi NTT tercatat pada tahun 2021, suhu terendah di Kota Kupang 24,3°C, suhu tertinggi 32,6°C dan suhu rata – rata 27,9°C.

**Tabel 4. Data Suhu Maksimum, Rata – rata dan Minimum di Kota Kupang Tahun 2019 – 2021**

| Stasiun BMKG                       | Suhu Udara Menurut Kabupaten/Kota (Derajat Celsius) |      |      |           |      |      |          |      |      |
|------------------------------------|---|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
|                                    | Minimum   |      |      | Rata-rata |      |      | Maksimum |      |      |
|                                    | 2019  | 2020 | 2021 | 2019      | 2020 | 2021 | 2019     | 2020 | 2021 |
| Sumba Barat - (Tidak ada)          | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Sumba Timur - Mau Hau              | 22,8  | 23,6 | 23,3 | 26,8      | 27,5 | 27,0 | 32,3     | 32,8 | 32,7 |
| Kupang - (Tidak ada)               | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Timor Tengah Selatan - (Tidak ada) | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Timor Tengah Utara - (Tidak ada)   | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Belu - (Tidak ada)                 | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Alor - Mali                        | 23,1  | 23,8 | 23,9 | 27,3      | 27,8 | 27,8 | 31,5     | 31,9 | 32,1 |
| Lembata - (Tidak ada)              | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Flores Timur - Gewayantana         | 23,8  | 24,4 | 24,4 | 28,0      | 28,5 | 28,3 | 32,3     | 32,9 | 32,7 |
| Sikka - Wai Ob                     | 24,1  | 24,9 | 24,5 | 32,3      | 28,2 | 27,9 | 27,6     | 32,7 | 32,1 |
| Ende - (Tidak ada)                 | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Ngada - (Tidak ada)                | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Manggarai - Satar Taci             | 15,0  | 17,0 | 16,0 | 25,5      | 21,9 | 20,7 | 20,1     | 26,7 | 25,0 |
| Rote Ndao - Lekunik                | 22,7  | 23,7 | 23,4 | 26,7      | 27,2 | 26,8 | 32,0     | 32,2 | 31,5 |
| Manggarai Barat - Komodo           | 24,0  | 24,1 | 23,8 | 27,5      | 27,7 | 27,3 | 31,5     | 31,9 | 31,6 |
| Sumba Tengah - (Tidak ada)         | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Sumba Barat Daya - (Tidak ada)     | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Nagekeo - (Tidak ada)              | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Manggarai Timur - (Tidak ada)      | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Sabu Raijua - Tardamu              | 24,7  | 25,5 | 24,4 | 28,0      | 28,8 | 28,3 | 32,1     | 32,5 | 32,1 |
| Malaka - (Tidak ada)               | -   | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -    | -    |
| Kota Kupang - Eltani               | 24,2  | 25,5 | 24,1 | 27,2      | 27,7 | 27,9 | 32,2     | 32,4 | 32,1 |
| Kota Kupang - Lasiana              | 23,7  | 24,4 | 24,3 | 27,4      | 28,0 | 27,9 | 32,3     | 33,0 | 32,6 |

Sumber: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Kupang

#### 2. Kelembaban udara

Kelembaban udara menunjukkan besarnya presentase uap H<sub>2</sub>O di udara. Semakin tinggi persentase kelembaban menunjukkan semakin banyak uap air di udara. Kelembaban udara ditentukan oleh jumlah uap air yang terkandung di dalam udara (Arifianti, 2012). Kelembaban rata – rata di kota kupang pada tahun 2021, berdasarkan data BMKG adalah 76,90%.

#### 3. Lama penyinaran matahari

Lama penyinaran matahari terhadap perairan dan daratan akan menyebabkan pergerakan udara, dan lebih lanjut akan mempengaruhi stabilitas atmosfer dan volume ruang pencampuran (Hamdi, 2014). Berdasarkan Data BMKG Stasiun El Tari Kupang, Nilai maksimum lama penyinaran matahari pada tahun 2021, maksimum sebesar, 76,7%.

#### 4. Windrose

Windrose menggambarkan persentase kejadian arah dan kecepatan angin pada periode tertentu. Dari data windrose kita dapat mengetahui kecenderungan arah angin yang bertiup di suatu daerah dan bisa memperkirakan kemana arah distribusi pencemar udara yang diemisikan dari suatu sumber perncemar.

Berdasarkan Data BMKG Stasiun El Tari Kupang, kecepatan angin maksimum pada tahun 2021 adalah 13 m/detik dan kecepatan rata – rata sebesar 10.80 m/det.

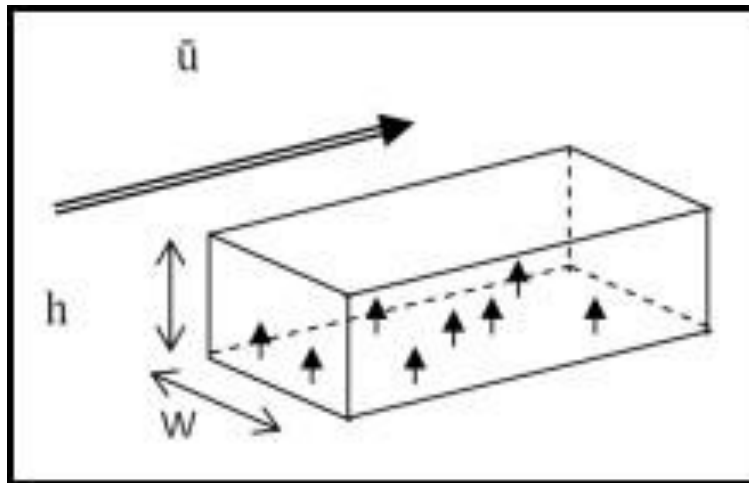
| Stasiun BMKG                       | Kecepatan Angin Menurut Kabupaten/Kota (m/det) |      |      |           |      |      |          |       |       |
|------------------------------------|--|------|------|-----------|------|------|----------|-------|-------|
|                                    | Minimum  |      |      | Rata-rata |      |      | Maksimum |       |       |
|                                    | 2019   | 2020 | 2021 | 2019      | 2020 | 2021 | 2019     | 2020  | 2021  |
| Sumba Barat - (Tidak ada)          | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Sumba Timur - Mau Hau              | -  | -    | -    | 7,50      | 8,00 | 7,00 | 22,00    | 18,00 | 13,00 |
| Kupang - (Tidak ada)               | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Timor Tengah Selatan - (Tidak ada) | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Timor Tengah Utara - (Tidak ada)   | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Belu - (Tidak ada)                 | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Alor - Mali                        | -  | -    | -    | 3,40      | 4,00 | 4,00 | 12,00    | 11,00 | 10,00 |
| Lembata - (Tidak ada)              | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Flores Timur - Gewayantana         | -  | -    | -    | 2,90      | 3,00 | 3,20 | 10,00    | 14,00 | 8,20  |
| Sikka - Wai Oti                    | -  | -    | -    | 6,30      | 5,00 | 8,30 | 40,00    | 10,00 | 10,40 |
| Ende - (Tidak ada)                 | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |
| Ngada - (Tidak ada)                | -  | -    | -    | -         | -    | -    | -        | -     | -     |

|                                |   |   |   |      |      |       |       |       |       |
|--------------------------------|---|---|---|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Ngada - (Tidak ada)            | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Manggarai - Satar Taci         | - | - | - | 3,50 | 4,00 | 3,80  | 23,00 | 17,00 | 8,20  |
| Rote Ndao - Lekunik            | - | - | - | 5,60 | 6,00 | 7,80  | 21,00 | 16,00 | 11,80 |
| Manggarai Barat - Komodo       | - | - | - | 4,00 | 6,00 | 7,40  | 10,00 | 15,00 | 12,20 |
| Sumba Tengah - (Tidak ada)     | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Sumba Barat Daya - (Tidak ada) | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Nagekeo - (Tidak ada)          | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Manggarai Timur - (Tidak ada)  | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Sabu Raijua - Tardamu          | - | - | - | 8,60 | 9,00 | 9,30  | 13,00 | 13,00 | 10,60 |
| Malaka - (Tidak ada)           | - | - | - | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| Kota Kupang - Eltari           | - | - | - | -    | 7,00 | 10,80 | -     | 19,00 | 13,00 |
| Kota Kupang - Lasiana          | - | - | - | 4,50 | 5,00 | 2,40  | 27,00 | 25,00 | 11,00 |

Sumber: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Kupang

### Daya Tampung Beban Pencemar Udara

Untuk menghitung daya tampung beban pencemar udara yang terjadi di perempatan simpang Patung Kirab Fatululi ke Kota Kupang, dilakukan dengan pendekatan Box Model.



Gambae 3. Ilustrasi Box Model

Keterangan :

1. (Vol udara)/waktu =  $h \times w \times \bar{u}$  [ $L^3/T$ ]
2. (Berat pencemar)/waktu =  $P$  [ $M/T$ ]
3. Konsentrasi pencemar di udara = (Berat pencemar)/(Vol udara) Atau  
 $C = (\Delta x \times Q)/(L \times U)$

Bila lokasi tinjauan dianggap senuah kotak,  $h$  adalah tinggi pencampuran, dimana sangat bergantung pada kondisi kestabilan atmosfer dan kecepatan anginnya sehingga diasumsikan tinggi pencampurannya mencapai 1000 meter.

1.  $P$  adalah berat pencemar dalam satuan ug/detik yang nilainya merupakan beban tiap jenis pencemar (ton/tahun) yang perlu dikonversi satuannya menjadi ug/detik
2.  $W$  adalah lebar kota yang merupakan arah cross section arah angin dominan. Mengingat dominasi arah angin adalah angin barat dan angin timur, maka lebar kota adalah jarak utara dan selatan Kota Kupang yang bisa di hitung dengan mengalikan posisi lintang degan jarak tertentu.

Bumi memiliki diameter 12,742 km dan keliling 40.075 km. Lingkar bumi sebesar 3600garis bujur berarti setiap 10 adalah +- 111 km. Artinya setiap 10 garis bujur atau lintang pada peta mewakili 111km sebenarnya di permukaan bumi. Biasanya koordinat suatu wilayah menggunakan koordinat degan satuan derajat ( $^{\circ}$ ) + menit ( $'$ ). Untuk peta yang memuat informasi garis lintang / bujur dalam serajat dan menit dapat dihitung sebagaiberikut :

$10 = 111\text{km}$ ,  $10 = 60'$ (menit)

$1' = (1/60) \times 111 \text{ km} = 1.85 \text{ km}$ .

Dengan demikian untuk lokasi penelitian pada Bundaran Patung Kirab dengan koordinat  $123^{\circ}36'46''$  dan  $10^{\circ}09'39''$  LS diperoleh  $W$  adalah 16,65km, namun dalam analisis ini di batasi pada 2000 m2 untuk daerah di sekitar Simpang Bersinya Jl. Frans Seda - Kota Kupang

3.  $B$  adalah konsentrasi latar / background yang diambil dari hasil pemantauan kualitas udara ambien Kota Kupang.
4. Sedangkan  $\bar{u}$  adalah kecepatan rata – rata angin yang merupakan kecepatan dominan. Berikut ini adalah table Perhitungan Daya Tampung Beban Masing – Masing Pencemar. Karena yang dinilai hanya dari aktivitas dari sumber pencemar yangbergerak yaitu kendaraan on road saja.



**Tabel 5 . Faktor Emisi Tiap Parameter Untuk Masing – masing Jenis Kendaraan**

| Jenis Kendaraan | Faktor Emisi (FE) |      |       |     |       |
|-----------------|-------------------|------|-------|-----|-------|
|                 | CO                | Nox  | SO2   | HC  | PM 10 |
| Truk            | 8,4               | 17,7 | 0,82  | 1,8 | 1,4   |
| Motor           | 14                | 0,29 | 0,008 | 5,9 | 0,24  |
| Mobil+Angkot    | 40                | 2    | 0,026 | 4   | 0,01  |
| BUS             | 11                | 11,9 | 0,93  | 1,3 | 1,4   |

Sumber : Suhadi&Febrina (2013)

**Tabel 6 Jumlah Kendaraan Pagi, Siang dan pada Simpang Bersinyal Jl. Frans Seda**

| Arah                             | Total kendaraan pada pagi, siang dan malam |      |      |
|----------------------------------|--|------|------|
|                                  | HV   | LV   | MC   |
| Jl. Frans Seda (Liliba - Oebobo) | 182  | 3397 | 5433 |
| Jl. Frans Seda (Oebobo - Liliba) | 158  | 3638 | 7104 |
| Jl. Thamrin - Jl. Veteran        | 38   | 797  | 2440 |
| Jl. Veteran - Jl. Thamrin        | 56   | 1740 | 2369 |

Sumber : Hasil Survey

**Tabel 7. Jumlah Kendaraan Pagi, Siang dan pada Simpang Bersinyal Jl. Frans Seda**

| Jenis Kendaraan | Jumlah Kendaraan (N) | Faktor Emisi (FE) |      |       |     |       | Beban Emisi (BE) gram/unit |        |        |       |       |
|-----------------|----------------------|-------------------|------|-------|-----|-------|----------------------------|--------|--------|-------|-------|
|                 |                      | CO                | Nox  | SO2   | HC  | PM 10 | CO                         | Nox    | SO2    | HC    | PM 10 |
| Truk            | 416                  | 8.4               | 17.7 | 0.82  | 1.8 | 1.4   | 3494.4                     | 7363.2 | 341.12 | 748.8 | 582.4 |
| Motor           | 17346                | 14                | 0.29 | 0.008 | 5.9 | 0.24  | 24284                      | 5030.3 | 138.77 | 10234 | 4163  |
| Mobil+Angkot    | 9572                 | 40                | 2    | 0.026 | 4   | 0.01  | 38288                      | 19144  | 248.87 | 38288 | 95.72 |
| BUS             | 12                   | 11                | 11.9 | 0.93  | 1.3 | 1.4   | 132                        | 142.8  | 11.16  | 15.6  | 16.8  |

Sumber : Hasil Analisis

**Tabel 8. Analisis Pencemaran Udara dari Masing – masing Parameter**

| Jenis Kendaraan  | Beban Emisi (BE) gram/unit |            |         |             |           | $\Delta X$<br>m | u<br>m/dt | L<br>m | C CO<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CNO2<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CSO2<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CHC<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CPM 10<br>$\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|------------------|----------------------------|------------|---------|-------------|-----------|-----------------|-----------|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|                  | CO                         | Nox        | SO2     | HC          | PM 10     |                 |           |        |                                  |                                  |                                  |                                 |                                    |
| Truk             | 3,494,400                  | 7,363,200  | 341,120 | 748,800     | 582,400   | 2,000           | 10.80     | 1,000  | 647,111                          | 1,363,556                        | 63,170                           | 138,666,667                     | 107,852                            |
| Sepeda Motor     | 242,844,000                | 5,030,340  | 138,768 | 102,341,400 | 4,163,040 | 2,000           | 10.80     | 1,000  | 44,971,111                       | 931,544                          | 25,698                           | 18,952,111,111                  | 770,933                            |
| Kendaraan Ringan | 382,880,000                | 19,144,000 | 248,872 | 38,288,000  | 95,720    | 2,000           | 10.80     | 1,000  | 70,903,704                       | 3,545,185                        | 46,087                           | 7,090,370,370                   | 17,726                             |
| Bus              | 132,000                    | 142,800    | 11,160  | 15,600      | 16,800    | 2,000           | 10.80     | 1,000  | 24,444                           | 26,444                           | 2,067                            | 2,888,889                       | 3,111                              |

Dari hasil analisis, total gabungan jenis – jenis kendaraan untuk parameter CO, SO2, NO2, HC dan PM10 diperoleh CO sebesar 116,546  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , SO2, sebesar 137,022  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , NO2 sebesar 5.866  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , HC sebesar 136,666  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan PM10 sebesar 899,622  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dari hasil pemantauan kualitas udara, terhadap kelima parameter, dapat dilihat pada semua kondisi melebihi baku mutu sesuai yang disyaratkan dalam PP 41 Tahun 1999, yaitu hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), SO2, NO2 dan PM10. Sebagian besar hasil pemantauan kualitas udara ambien pada daerah Simpang bersinya Jl. Frans Seda dan sekitarnya melebihi baku mutu, dengan sumber pencemar berasal dari aktivitas lalu lintas.

### SIMPULAN

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa berdasarkan data hasil survey pada jam sibuk terjadi pencemaran udara yang melebihi baku mutu yang disyaratkan dalam PP 41 Tahun 1999. Pemantauan kualitas udara di Kota Kupang yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa kondisi kualitas udara ambien masih memenuhi baku mutu, hanya di beberapa titik pemantauan dimana nilai parameter kualitas udara melebihi baku mutu, dan pada periode tertentu ketika terjadi kepadatan aktivitas penduduk. Dari hasil analisis inventarisasi pencemar udara dan GRK, sumber pencemar yang paling berpengaruh terhadap kondisi kualitas udara di Kota Kupang adalah dari sumber pencemar bergerak (transportasi).

### DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Widi., Kusumawardani, Yustika, Analisis Pencemaran Udara Dengan Box Model (Daya Tampung Beban Pencemar Udara) Studi Kasus Di Kota Tangerang, Jurnal Neo Teknik Vol 3. No. 1, Juni 2017, hal. 21-28
- Masito, Ani., Analisis Risiko Kualitas Udara Ambien (No2 Dan So2) Dan Gangguan Pernapasan Pada Masyarakat Di Wilayah Kalianak Surabaya, Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol.10 , No.4, Oktober 2018: 394-401

- Natsir. T. A, dkk., Penggunaan Aermod Untuk Kajian Simulasi Dampak Pencemaran Karbon Monoksida Di Kota Yogyakarta Akibat Emisi Kendaraan Bermotor, J. Manusia & Lingkungan, Januari 2017, 24(1):11-16, DOI: 10.22146/jml.23631
- Sandra, Christyana, Pengaruh Penurunan Kualitas Udara Terhadap Fungsi Paru Dan Keluhan Pernafasan Pada Polisi Lalu Lintas Polwiltabes Surabaya, Jurnal IKESMA Volume 9 Nomor 1 Maret 2013
- Situmorang, Manihar, Kimia Lingkungan, Raja Wali Pers, Depok, 2017
- Sugiarta, A.A.G, Jurnal IKESMA Volume 9 Nomor 1 Maret 2013, Jurnal IKESMA Volume 9 Nomor 1 Maret 2013
- <https://hukumlingkungan.or.id/2020/02/08/baku-mutu-udara-ambien/>