

## Model Degradasi Kualitas Lingkungan Hidup di Perkotaan pada Waktu Tertentu

---

Sri Enny Triwidiastuti

### PENDAHULUAN

Sampai hari ini jumlah penduduk di dunia terus bertambah dan gaya hidup masyarakat semakin meningkat. Di kota-kota besar, jumlah kendaraan bermotor yang memasuki kota pada pagi hari bertambah, baik sepeda motor maupun mobil. Perusahaan otomotif dan para pengambil keputusan bidang ekonomi merasa gembira dengan meningkatnya jumlah kendaraan. Di lain pihak meningkatnya jumlah kendaraan menimbulkan beberapa masalah, antara lain kemacetan lalu lintas, kerugian pemakaian BBM, waktu yang tersita pekerja dan masalah kesehatan akibat polusi udara. Dampak bertambahnya penduduk di kota besar juga menimbulkan masalah, salah satunya pembuangan limbah rumah tangga. Limbah rumah tangga salah satu penyebab penurunan kualitas lingkungan hidup. Jaman dahulu sungai mempunyai organisme alami yang dapat mengolah limbah secara seimbang, tetapi bertambahnya penduduk yang bermukim di tepi sungai dan mempunyai kebiasaan membuang sampah di sungai menyebabkan sungai penuh dengan limbah/sampah. Akibat masalah tersebut organisme alami yang terdapat di sungai akan mati dan tidak mampu mengolah limbah yang terlalu banyak.

Limbah rumah tangga yang tidak berada di sungai, juga berperan besar pada pencemaran lingkungan (Wiryono, 2007). Contohnya, produksi sampah di Jakarta tahun 2015 diperkirakan mencapai 6.000 ton per hari. Sekitar 4.500 ton (75%) yang terangkut ke Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang. Setiap tahun, Ibu Kota harus mengeluarkan ratusan miliar rupiah untuk membayar biaya pengolahan sampah (*tipping fee*) dan biaya sosial warga sekitar TPST. Masalah limbah terjadi tidak hanya volumenya yang semakin besar, tetapi juga jenis yang tidak dapat didaur ulang dan beracun (B2 dan B3), sehingga perlu pengolahan tersendiri. Di negara berkembang, selain faktor fisik, non fisik penyumbang degradasi lingkungan adalah kemiskinan dan kurangnya pengetahuan masyarakat (Sampah di Jakarta Diperkirakan Capai 6.000 Ton Per Hari, 2015).

## 12 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

Merosotnya kualitas lingkungan dikota besar menimbulkan pertanyaan, sampai seberapa besar laju penurunan (degradasi) kualitas lingkungan hidup pada kurun waktu tertentu? Tulisan ini berusaha menjawab pertanyaan tersebut dengan mengurai masing-masing penyebab laju penurunan dan mencari model yang dapat merepresentasikan degradasi tersebut.

### **DEGRADASI KUALITAS LINGKUNGAN HIDUP**

Degradasi atau penurunan kualitas lingkungan hidup merugikan kehidupan manusia. Degradasi lingkungan hidup disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu alam dan manusia. Faktor alam yang menyebabkan degradasi lingkungan tidak dapat diprediksi dan dihindarkan oleh manusia sepenuhnya. Faktor alam ini misalnya gempa bumi, gunung meletus, tsunami, angin topan, wabah penyakit, kekeringan, dan kebakaran. Sedang faktor manusia yang menyebabkan degradasi lingkungan sepenuhnya tergantung usaha manusia dalam mengendalikan kegiatannya, termasuk dalam mengelola lingkungan hidup.

Degradasi lingkungan hidup yang ditimbulkan oleh kegiatan manusia mendorong terjadinya tanah longsor, banjir, pencemaran lingkungan, serta kecelakaan industri dan kimia. Sebagai contoh dampak degradasi lingkungan di Jakarta dapat dikenali dari empat aspek yaitu aspek lingkungan, aspek infrastruktur, aspek sosial, dan aspek tata kelola. Hal tersebut disampaikan oleh Menteri Pekerjaan Umum RI, Djoko Kirmanto saat memberikan sambutan dalam seminar nasional Keberlanjutan Jakarta Sebagai Ibu Kota Negara dan Kota Pusat Pemerintah, di Pusat Studi Jepang, Kampus UI Depok, Rabu (24/11/2010). Berbagai indikator degradasi lingkungan ini makin tidak terpisahkan dari Jakarta. Banjir yang makin rutin dan sering mengunjungi Jakarta, baik akibat berkurangnya daya serap tanah terhadap curah air hujan ataupun rusaknya daerah aliran sungai (DAS). Juga berbagai indikator lain semisal kelangkaan sumber air bersih, pencemaran air dan udara, meluasnya daerah kumuh, dan penetrasi air asin pada sumur penduduk (Tingkat degradasi lingkungan hidup di Jakarta, 2010)

Secara umum, degradasi lingkungan ini mengakibatkan banyak kerugian seperti kerusakan fisik, korban jiwa, timbulnya penyakit, perubahan iklim, dan kelaparan.

### **1. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Tanah Longsor**

Tanah longsor merupakan pergerakan massa tanah dan bebatuan ke daerah bawah yang disebabkan oleh peningkatan kandungan air dalam tanah, hilangnya perekat agregat tanah, penambahan beban tanah, erosi air, daya gravitasi dan perubahan kemiringan lereng oleh kegiatan manusia. Bencana tanah longsor biasanya terjadi bersamaan dengan banjir. Hampir setiap tahun bencana tanah longsor terjadi di Indonesia, terutama di wilayah perbukitan yang memiliki lereng curam dan wilayah yang mengalami penggundulan lahan. Kerusakan fisik dan korban jiwa terenggut dengan bencana ini. Pengaruh tidak langsung kerusakan fisik dari tanah longsor adalah penurunan produktivitas lahan, nilai bangunan, dan infrastruktur. Reruntuhan puing-puing dan massa tanah serta aliran lumpur dapat menimpa penduduk dan mengakibatkan kematian.

### **2. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Banjir**

Fenomena banjir disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, luapan air sungai, dan pasang naik air laut. Sering kali kejadian banjir dipengaruhi oleh kegiatan manusia seperti penggundulan hutan, pembangunan permukiman dan gedung, serta pembuangan sampah di saluran-saluran air. Kerugian akibat banjir dapat berupa kerusakan fisik bangunan dan infrastruktur, menimbulkan wabah penyakit (yang disebabkan oleh bakteri atau virus seperti diare, muntaber, malaria, dan infeksi), persediaan air bersih yang terkontaminasi bakteri. Keadaan banjir dalam waktu lama akan menjadikan persediaan pangan di daerah yang kebanjiran menipis dan kekurangan pangan.

### **3. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Pencemaran Lingkungan**

Fenomena pencemaran lingkungan menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan kualitas lingkungan hidup sehingga tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran lingkungan terjadi karena masuknya zat, energi, organisme, dan komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia. Beberapa jenis pencemaran dan penyebabnya sebagai berikut.

#### **a. Pencemaran Udara**

Zat pencemar atau polutan penyebab pencemaran udara antara lain sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), dan

## 14 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

timbal (Pb) yang berasal dari industri dan alat transportasi kendaraan bermotor.

### **b. Pencemaran Laut**

Pencemaran laut disebabkan oleh zat pencemar antara lain tumpahan minyak, limbah cair industri, sampah rumah tangga, sampah laut, dan zat radioaktif yang tercecer di laut.

### **c. Pencemaran Air Tawar**

Pencemaran air tawar disebabkan oleh zat pencemar antara lain limbah manusia dan rumah tangga, limbah cair industri, pestisida, pupuk kimia, serta sedimen hasil erosi.

### **d. Pemanasan Global**

Pemanasan global disebabkan oleh zat pencemar antara lain karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari hasil pembakaran bahan bakar fosil dan kebakaran hutan, serta gas metana (CH<sub>4</sub>) dari kotoran ternak.

### **e. Penipisan Ozon**

Penipisan lapisan ozon disebabkan oleh zat pencemar antara lain Klorofluorokarbon/KFK (Chlorofluorocarbon/CFC). Gas ini akan menipiskan lapisan ozon bila lepas ke atmosfer. Mengakibatkan sinar ultraviolet dari matahari mudah mengenai permukaan Bumi.

Contoh pencemaran laut yang penting di Indonesia adalah pencemaran Teluk Buyat, Sulawesi Utara. Pencemaran perairan Teluk Buyat disebabkan oleh pembuangan *tailing* (lumpur sisa penambangan), tercemari oleh zat kimia arsenik (As) dan merkuri (Hg), sehingga organisme laut seperti plankton, bentos, dan ikan-ikan turut tercemar.

Pencemaran lingkungan dapat menyebabkan perubahan fisik dan hayati, sehingga lingkungan tidak berfungsi dengan baik. Kerusakan atau kerugian yang diakibatkan pencemaran lingkungan dapat beragam. Pencemaran udara dapat merusak tanaman pertanian, hutan, sistem air, bangunan, dan kesehatan manusia, dan pencemaran air dapat menyebarkan penyakit, merusak organisme perairan, dan menyebarkan bahan kimia ke lingkungan hidup sehingga berpengaruh pada manusia, hewan, dan kehidupan perairan. Sedangkan pemanasan global membuat permukaan laut naik, suhu permukaan bumi meningkat, atau perubahan iklim. Selain itu

penipisan ozon dapat menyebabkan kanker kulit dan katarak, merusak kehidupan laut, dan menurunkan sistem kekebalan tubuh.

#### **4. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Penggundulan Hutan**

Fenomena penggundulan hutan (*deforestation*) makin marak terjadi di Indonesia beberapa tahun terakhir. Diperkirakan hutan seluas 1,6 juta hektar hilang atau menjadi gundul setiap tahun di negara kita. Keadaan ini tentu memengaruhi fungsi hutan hujan tropis sebagai "payung raksasa" dan daerah resapan air. Terjadinya penggundulan hutan didorong oleh peningkatan kegiatan pembalakan, perluasan lahan pertanian, pembukaan lahan baru, dan pengumpulan kayu bakar. Penggundulan hutan telah mengancam kelestarian lingkungan hutan. Menyebabkan hasil hutan baik primer dan sekunder hilang seperti tanaman kayu, obat-obatan, dan buah-buahan, serta berbagai jenis hewan. Penggundulan hutan dapat menyebabkan bencana banjir, erosi tanah, kekeringan, pencemaran lingkungan dan paling fatal adalah bencana kelaparan dalam jangka panjang.

#### **5. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Penggersangan Lahan (*Desertification*)**

Lahan gersang menyebabkan penurunan produktivitas lahan, jenis hewan, dan jenis tumbuhan yang hidup di dalamnya. Lahan gersang dapat terjadi karena kondisi iklim yang tidak kondusif, misalnya curah hujan rendah dan temperatur udara tinggi. Penggersangan lahan (*desertification*) dapat juga disebabkan oleh pemanfaatan lahan yang buruk seperti penanaman yang kontinu sepanjang tahun, penanaman dengan jarak tanam yang rapat, serta irigasi yang buruk. Kerugian akibat penggersangan lahan adalah produktivitas yang menurun, kekeringan, dan ancaman kelaparan.

#### **6. Degradasi Lingkungan Hidup Akibat Kecelakaan Industri dan Kimia**

Fenomena bencana yang ditimbulkan oleh kecelakaan industri dan kimia dapat berupa ledakan pabrik atau fasilitas penyimpanan zat kimia, kecelakaan pada saat pengiriman bahan kimia, kontaminasi makanan/minuman oleh bahan kimia, kecerobohan pengolahan limbah beracun, serta kegagalan sistem teknologi dan rancangan keamanan pabrik. Bencana yang disebabkan kecelakaan industri dan kimia pernah terjadi di Chernobyl, Ukraina, Eropa. Bencana ini berupa meledaknya pembangkit listrik tenaga nuklir dan menjadi kecelakaan nuklir terburuk sepanjang

## 16 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

sejarah umat manusia. Pasokan pangan ke seluruh Eropa terkontaminasi awan radiasi yang bertiup sampai Eropa Barat, seperti Inggris. Kecelakaan industri dan kimia dapat mengakibatkan kerugian berupa kerusakan fisik bangunan dan infrastruktur, luka dan kematian, dan yang paling penting adalah pencemaran lingkungan. Kecelakaan kimia akibat ledakan nuklir sangat membahayakan karena dampaknya mencakup daerah yang luas dan berkepanjangan. Daerah yang mengalami kecelakaan nuklir tidak dapat dihuni manusia untuk beberapa lama. Sistem lingkungan menjadi rusak, bahkan sampai skala global (Degradasi Lingkungan Hidup di Jakarta, 2015).

### MODEL DAN PERMODELAN SISTEM

Menurunnya (degradasi) kualitas lingkungan hidup dikota besar dapat dinyatakan dalam sistem permodelan untuk menggambarkan dan menghitung laju penurunan degradasi tersebut. Permodelan yang dimaksud adalah rencana, representasi atau deskripsi yang menjelaskan suatu obyek, sistem atau konsep yang sering kali berupa penyederhanaan atau idealisasi. Bentuknya dapat berupa model fisik (maket, prototype), model citra (gambar, komputerisasi, grafis dll) atau rumus matematis. Dalam pemodelan, model akan dirancang sebagai suatu penggambaran operasi dari suatu sistem nyata secara ideal dengan tujuan untuk menjelaskan atau menunjukkan hubungan-hubungan penting yang terkait (Definisi, Karakteristik dan Prinsip-Prinsip Permodelan Sistem, 2010).

Prinsip-prinsip dasar pengembangan model ada tiga yaitu elaborasi, analogi dan dinamis. Elaborasi adalah pengembangan model dimulai dari yang sederhana sampai didapatkan model yang representatif. Analogi adalah pengembangan menggunakan prinsip-prinsip dan teori yang sudah dikenal luas sedangkan Dinamis adalah pengembangan model dimana ada kemungkinan untuk bisa diulang.

Taksonomi model atau klasifikasi model terdiri atas delapan yaitu:

1. Berdasarkan fungsinya, model dibedakan menjadi tiga jenis yaitu (a) Model deskriptif, adalah model yang hanya menggambarkan situasi sebuah sistem tanpa rekomendasi dan peramalan. Contohnya adalah peta organisasi; (b) Model prediktif, adalah model yang menunjukkan apa yang akan terjadi bila sesuatu terjadi; (c) Model normatif, adalah model yang menyediakan jawaban terbaik terhadap satu persoalan. Model ini memberikan rekomendasi tindakan-tindakan yang perlu

diambil. Contohnya adalah model budget advertensi, model *economic lot size*, model *marketing mix*.

2. Berdasarkan strukturnya model dibedakan menjadi tiga jenis yaitu (a) Model ikonik, yaitu model yang menirukan sistem aslinya, tapi dalam suatu skala tertentu. Contohnya adalah model pesawat; (b) Model analog, yaitu suatu model yang menirukan sistem aslinya dengan hanya mengambil beberapa karakteristik utama dan menggambarkannya dengan benda atau sistem lain secara analog. Contohnya adalah aliran lalu lintas di jalan dianalogkan dengan aliran air dalam sistem pipa; (c) Model simbolis, yaitu suatu model yang menggambarkan sistem yang ditinjau dengan simbol-simbol biasanya dengan simbol-simbol matematik. Dalam hal ini sistem diwakili oleh variabel-variabel dari karakteristik sistem yang ditinjau.
3. Berdasarkan referensi waktu terdapat dua jenis model yaitu (a) Model statis, yaitu model yang tidak memasukkan faktor waktu dalam perumusannya; (b) Model dinamis, yaitu model yang mempunyai unsur waktu dalam perumusannya.
4. Berdasarkan referensi kepastian, dibedakan menjadi empat jenis model yaitu (a) Model deterministik, dalam model ini pada setiap kumpulan nilai input, hanya ada satu output yang unik, yang merupakan solusi dari model dalam keadaan pasti. Contohnya adalah model persediaan; (b) Model probabilistik, yaitu model yang menyangkut distribusi probabilistik dari input atau proses dan menghasilkan suatu deretan harga bagi paling tidak satu variabel output yang disertai dengan kemungkinan-kemungkinan dari harga-harga tersebut. Contohnya adalah diagram pohon keputusan, peta pengendalian; (c) Model konflik, dalam model ini sifat alamiah pengambil keputusan berada dalam pengendalian lawan. Contohnya adalah perang; (d) Model Tak Pasti/*Uncertainly*, yaitu model yang dikembangkan untuk menghadapi ketidakpastian mutlak. Pemilihan jawaban berdasarkan pertimbangan, utilitas dan risiko melalui probabilitas subjektif.
5. Berdasarkan tingkat generalitas ada dua jenis model yaitu (a) Model umum, yaitu model yang dapat diterapkan pada berbagai bidang untuk beberapa jenis masalah yang berbeda. Contohnya adalah program linier, PERT, model antrian, kasus personalia dan pemasaran serta distribusi barang. (b) Model khusus, yaitu model yang dapat diterapkan terhadap sebuah bidang atau yang unik saja dan hanya digunakan pada

## 18 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

masalah-masalah tertentu. Contohnya adalah model persediaan probabilistik.

6. Berdasarkan acuan lingkungan ada dua jenis model yaitu (a) Model terbuka, yaitu model yang memiliki interaksi dengan lingkungannya berupa pertukaran informasi, material atau energi mempunyai satu variabel eksogen yaitu variabel berasal dari lingkungan eksternal. Contohnya adalah Model Sosial; (b) Model tertutup, yaitu model yang tidak memiliki interaksi dengan lingkungannya, memiliki variabel yang seluruhnya endogen, yang terkendali dan internal. Contohnya adalah Model Thermostat.
7. Berdasarkan derajat kuantifikasi dibedakan:
  - a. Model kualitatif, yaitu model yang menggambarkan mutu suatu realita. Model ini terdiri atas dua jenis model yaitu (1) Model mental adalah model yang menggambarkan titik awal dari abstraksi dalam memahami masalah dan situasi. Contohnya adalah proses berpikir manusia tentang sesuatu; (2) Model verbal, yaitu model yang disajikan dalam bahasa sehari-hari dan tidak dalam bahasalogika atau simbolis atau matematis. Analisis bersandar pada pertimbangan yang masuk akal dan bernalar. Contohnya adalah model konseptual.
  - b. Model kuantitatif, yaitu model yang variabelnya dapat dikuantitatifkan, terbagi empat yaitu (1) Model statistik, yaitu model yang mendeskripsikan dan menyimpulkan data; (2) Model optimasi, yaitu model yang digunakan untuk menentukan jawaban terbaik, terdiri atas optimasi analitik dan logaritmik; (3) Model Heuristik, yaitu model yang digunakan untuk mencari jawaban yang baik tapi bukan optimum, merupakan pendekatan praktis; (4) Model simulasi, yaitu model yang digunakan untuk mencari jawaban yang baik dan menguntungkan.
8. Berdasarkan dimensinya, ada dua jenis model yaitu (a) Dua dimensi, contohnya photo dan peta; (b) Tiga dimensi, contohnya prototype jembatan dan maket rumah (Definisi Model dan Klasifikasi model, 2012).

Sedangkan sistem adalah suatu kesatuan yang terdiri atas komponen atau elemen yang dihubungkan bersama untuk memudahkan aliran informasi, materi atau energi untuk mencapai suatu tujuan.

Permodelan sistem adalah suatu bentuk penyederhanaan dari beberapa elemen dan komponen yang sangat kompleks untuk memudahkan pemahaman pembaca dari seluruh informasi yang dibutuhkan.

Karakteristik permodelan sistem adalah:

1. Dibuat dalam bentuk grafis dan tambahan narasi berupa penjelasan ringkas.
2. Dapat diamati dengan pola *top down* dan *partitioned* (sebagian-sebagian).
3. Memenuhi persyaratan *minimal redundancy*.
4. Dapat merepresentasikan tingkah laku sistem dengan cara yang transparan.

Dengan karakteristik permodelan tersebut, model dapat dibuat dalam bentuk grafis atau bergambar dan dilengkapi dengan keterangan, sehingga dapat memudahkan pembaca. Alur dari proses model tersebut dapat dilihat dan diamati, memenuhi syarat *minimal redundancy* dan dapat merepresentasikan proses dari suatu sistem yang mudah dipahami.

Prinsip permodelan adalah:

1. Memilih model apa yang akan digunakan, bagaimana masalah dan solusinya.
2. Setiap model dapat dinyatakan dalam tingkatan yang berbeda.
3. Model terbaik adalah model yang berhubungan atau menyatakan realitas.
4. Tidak ada model tunggal yang cukup baik, sehingga setiap sistem yang baik memiliki serangkaian model kecil yang independen.

Prinsip permodelan sistem tidak terlalu menitik beratkan pada bentuk-bentuk model tertentu yang akan merancang sebuah sistem. Bentuk model ini bebas, dapat menggunakan apa saja sesuai keinginan kita, contohnya berupa gambar, prototype dan narasi, gabungan kedua atau ketiganya. Model yang baik harus dapat merepresentasikan visualisasi bentuk sistem yang diinginkan, karena sistem akhir yang akan dibuat harus dapat diturunkan berdasarkan hasil model tersebut.

## **PERMODELAN PERAMALAN**

Peramalan merupakan faktor yang cukup penting dalam perencanaan dan pengambilan keputusan baik dalam kehidupan sehari-hari, maupun dalam dunia bisnis, industri dan pemerintahan. Karena banyak keputusan

penting yang tergantung pada antisipasi nilai beberapa variabel. Bidang yang berbeda dapat mempergunakan metoda peramalan yang berbeda. Sebagai gambaran adalah pemilik pabrik sepatu yang memerlukan peramalan yang akurat karena berkaitan dengan biaya produksi (bila produksi terlalu banyak akan meningkatkan biaya gudang), biaya distribusi dan biaya iklan. Pemilik harus pandai meramalkan dan menyeimbangkan antara target penjualan dengan komponen biaya-biaya tersebut. Target penjualan dihitung dari peramalan berdasarkan data-data penjualan yang lalu, selera pasar, perubahan jumlah penduduk dan lain-lain. Contoh yang lain adalah pemilik toko sembako, yang mempunyai pengalaman bahwa keuntungan akan diperoleh apabila kepadatan penduduk didaerahnya melebihi jumlah tertentu. Pengetahuan ini berdasarkan pengalaman dan dapat diterapkan untuk penjualan di masa yang akan datang dengan peramalan yang akurat.

Peramalan berdasarkan probabilitas dan statistik dalam tulisan ini dibatasi pada data runtun waktu. Data runtun waktu artinya data yang merupakan hasil pengamatan dari sebuah variabel yang dikumpulkan secara teratur yang terjadi pada kurun waktu tertentu. Melakukan peramalan berbasis data runtun waktu (*continue*) dengan *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA) artinya hanya berdasarkan satu variabel yang akan diduga nilainya. Membangun model ARIMA ini memerlukan ukuran sampel minimum 50 data pengamatan. Untuk data runtun waktu yang bersifat musiman memerlukan ukuran sampel yang lebih besar lagi. Setiap pengamatan dalam sebuah data runtun waktu secara statistik diasumsikan berhubungan satu sama lain. ARIMA bertujuan untuk membangun model yang dapat menggambarkan hubungan antara satu pengamatan dengan pengamatan lainnya dengan baik dalam sebuah data runtun waktu. Sebuah model ARIMA merupakan sebuah pernyataan aljabar yang menunjukkan bagaimana sebuah pengamatan  $z_t$  dalam sebuah data runtun waktu berhubungan dengan data-data pengamatan sebelumnya ( $z_{t-1}, z_{t-2}, z_{t-3}, \dots$ ). Sebuah contoh model ARIMA sebagai berikut:

$$z_t = C + \phi_1 z_{t-1} + a_t$$

Model ini menyatakan bahwa  $z_t$  berhubungan dengan data sebelumnya  $z_{t-1}$ ,  $C$  adalah konstanta,  $\phi_1$  merupakan sebuah koefisien nilainya yang menggambarkan hubungan antara  $z_t$  dan  $z_{t-1}$ . Sedangkan  $a_t$  adalah suatu

komponen “*shock*” probabilistik. Komponen  $C$ ,  $\phi_1$ ,  $z_{t-1}$  dan  $a_t$  semuanya merupakan komponen  $z_t$ . Komponen  $C$  merupakan komponen yang nilainya tetap, sedangkan  $\phi_1$ ,  $z_{t-1}$  merupakan komponen yang bersifat probabilistik karena nilainya sebagian tergantung pada besarnya nilai  $z_{t-1}$ . Secara gabungan nilai ketiganya dapat diduga (*predictable*). Komponen  $a_t$  merupakan komponen murni probabilistik yang tidak dapat diduga. Namun demikian,  $a_t$  mempunyai beberapa sifat statistik tertentu. Sebuah model yang baik, mempunyai beberapa karakteristik. Salah satunya adalah memiliki jumlah estimasi parameter minimal yang diperlukan untuk menggambarkan pola data yang tersedia secara tepat (Soelaeman, 2008).

## PEMBAHASAN

Bahasan pada tulisan ini dibatasi pada degradasi lingkungan hidup karena pencemaran lingkungan akibat kegiatan manusia dikota besar secara umum dengan metode kuantitatif dengan data dalam skala rasio. Permodelan degradasi kualitas lingkungan yang akan ditinjau pada tulisan ini adalah pencemaran lingkungan meliputi pencemaran udara, pencemaran laut, pencemaran air tawar, pemanasan global dan penipisan ozon. Model matematis dalam bentuk  $y = \text{fungsi } x$  adalah model matematis yang paling sederhana sebagai representasi beberapa variabel dalam indikator setiap pencemaran lingkungan. Penulis mencoba mengembangkan dalam ARIMA, setelah diteliti hubungan antar variabel dan seberapa kedekatan masing-masing variabel dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan matriks kovarian (Triwidiastuti, 2007). Alur berpikir model matematis pada tulisan ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. Tabel Alur Berpikir**

Pencemaran Lingkungan		t (waktu tertentu)					Hasil berupa
Variabel	Indikator	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	
Udara							indeks
	sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	$x_{11}$					
	nitrogen oksida (NO <sub>x</sub> )	$x_{12}$					
	karbon monoksida (CO)	$x_{13}$					
	timbal (Pb)	$x_{14}$					
Air Laut							indeks
	tumpahan minyak		$x_{21}$				
	limbah cair industri		$x_{22}$				
	sampah rumah tangga		$x_{23}$				
	sampah laut		$x_{24}$				
Air Tawar							indeks
	limbah manusia dan rumah tangga			$x_{31}$			
	limbah cair industri			$x_{32}$			
	pestisida			$x_{33}$			
	pupuk kimia			$x_{34}$			
	sedimen hasil erosi			$x_{35}$			
Pemanasan Global							indeks
	karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) dari hasil pembakaran bahan bakar fosil				$x_{41}$		
	karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) dari hasil kebakaran hutan				$x_{42}$		
	gas metana (CH <sub>4</sub> ) dari kotoran ternak.				$x_{43}$		
Penipisan Ozon							indeks
	Klorofluorokarbon/KFK (Chlorofluorocarbon/CFC).					$x_{51}$	

Model matematis linier secara sederhana dalam bentuk  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$  dipergunakan untuk masing-masing pengamatan pada waktu  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ . Indikator pencemaran lingkungan yang diamati adalah sebagai berikut:

a. *Pencemaran Udara*  $y_1$

Zat pencemar atau polutan penyebab pencemaran udara antara lain sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), dan timbal (Pb) yang berasal dari industri dan alat transportasi kendaraan bermotor. Sehingga  $y_1 = f(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, \dots, x_{1n})$  untuk  $x_{11}$  = kadar SO<sub>2</sub>,  $x_{12}$  kadar NO<sub>x</sub>,  $x_{13}$  = kadar CO,  $x_{14}$  = kadar Pb dalam udara. Dari data diketahui, kondisi pencemaran udara  $y_1$  berupa data kualitatif dengan variabel pengamatan  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, \dots, x_{1n}$  berupa data skala rasio. Sehingga hasil  $y_1$  dalam skala rasio, yang berupa indeks.

b. *Pencemaran Laut*,  $y_2$

Pencemaran laut disebabkan oleh zat pencemar antara lain tumpahan minyak, limbah cair industri, sampah rumah tangga, sampah laut, dan zat radioaktif yang tercecer di laut. Sehingga  $y_2 = f(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, \dots, x_{2n})$  untuk  $x_{21}$  = kadar minyak dipermukaan laut,  $x_{22}$  = kadar limbah cair industri diperairan,  $x_{23}$  = jumlah sampah rumah tangga,  $x_{24}$  = jumlah sampah laut, dan  $x_{25}$  = kadar zat radioaktif yang tercecer di laut. Data dalam skala rasio dan hasil berupa indeks.

c. *Pencemaran Air Tawar*,  $y_3$

Pencemaran air tawar disebabkan oleh zat pencemar antara lain limbah manusia dan rumah tangga, limbah cair industri, pestisida, pupuk kimia, serta sedimen hasil erosi. Sehingga  $y_3 = f(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}, \dots, x_{3n})$  untuk  $x_{31}$  = kadar limbah manusia dan rumah tangga,  $x_{32}$  = kadar limbah cair industri,  $x_{33}$  = kadar pestisida,  $x_{34}$  = kadar pupuk kimia,  $x_{35}$  = sedimen hasil

## 24 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

erosi dalam perairan air tawar, termasuk air tanah dangkal. Data dalam skala rasio dan hasil berupa indeks.

### d. Pemanasan Global, $y_4$

Pemanasan global disebabkan oleh zat pencemar antara lain karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari hasil pembakaran bahan bakar fosil dan kebakaran hutan, serta gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dari kotoran ternak. Sehingga  $y_4 = f(x_{41}, x_{42}, x_{43}, \dots, x_{4n})$  untuk  $x_{41}$  = kadar  $\text{CO}_2$  dari hasil pembakaran bahan bakar fosil,  $x_{42}$  = kadar  $\text{CO}_2$  hasil kebakaran hutan,  $x_{43}$  = kadar  $\text{CH}_4$  dari kotoran ternak.

### e. Penipisan Ozon, $y_5$

Penipisan lapisan ozon disebabkan oleh zat pencemar antara lain Klorofluorokarbon/KFK (Chlorofluorocarbon/CFC), gas ini akan menipiskan lapisan ozon bila lepas ke atmosfer. Penipisan ozon mengakibatkan sinar ultraviolet dari matahari mudah mengenai permukaan Bumi. Sehingga  $y_5 = f(x_{51} = \text{kadar CFC dalam udara})$ .

Gambar 1 menunjukkan Baku Mutu Indeks pencemaran udara dalam bentuk indeks dan dengan masing-masing variabelnya berskala rasio, yang dipergunakan sebagai pembandingan tingkat pencemaran yang terjadi pada suatu tempat dan waktu pengamatan tertentu.

	NO2 (mgr/m <sup>3</sup> ) Max media 1h	PM10 (mgr/m <sup>3</sup> ) media 6h	O3 (mgr/m <sup>3</sup> ) Max media 8h	CO (mgr/m <sup>3</sup> ) Max media 8h	SO2 (mgr/m <sup>3</sup> ) media 6h	IOA
Unggul	0-50	0-25	0-50	0-2,7	0-45	0-25
Diterima	50-100	25-50	50-120	2,7-5,2	45-90	26-50
Sedang Saja	100-200	51-62,5	120-150	5,2-11	90-125	51-100
Tidak sehat bagi sensitif grup	200-400	62,5-75	150-180	11-14,5	125-350	101-150
Yang berbahaya untuk kesehatan	400-500	75-87,5	180-240	14,5-18	350-700	151-200
Sangat tidak sehat	500-700	87,5-250	240-270	18-35	700-1600	201-300
Berbahaya	>700	>250	>750	>35	>1600	>300

Sumber : Sampah di Jakarta Diperkirakan Capai 6.000 Ton Per Hari, 2015

**Gambar 1.**

**Baku Mutu Indikator Tingkat Pencemaran Udara  $y_1$**

Gambar 2 merupakan baku mutu indeks pencemaran udara  $y_1$  yang diuraikan sesuai klasifikasi tingkat pencemaran.

Index kualitas udara	Tingkat kepedulian kesehatan	warna	Implikasi terhadap kesehatan
0-50	baik	hijau	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
51-100	Sedang	biru	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika
101-199	Tidak sehat	merah	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan atau nilai estetika
200-299	Sangat tidak sehat	kuning	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
>300	Berbahaya	hitam	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan serius pada populasi

Sumber : Sampah di Jakarta Diperkirakan Capai 6.000 Ton Per Hari, 2015

**Gambar 2.**

**Uraian Baku Mutu Tingkat Pencemaran Udara  $y_1$**

Masing-masing indikator  $y$  yang berskala rasio, berupa angka indeks dihitung dengan mempergunakan metode ARIMA, dihitung pada setiap waktu pengamatan  $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ . Tingkat pencemaran yang diramalkan pada waktu  $t_n$  adalah  $y = f (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$ . Dengan demikian prediksi tingkat pencemaran untuk tahun-tahun yang dikehendaki dapat diramalkan dengan lebih tepat sehingga degradasi kualitas lingkungan dapat dicarikan solusinya.

**KESIMPULAN**

Memilih model yang baik adalah hal yang tidak mudah. Degradasi kualitas lingkungan hidup yang ditimbulkan oleh kegiatan manusia, yang salah satunya adalah pencemaran lingkungan, dapat diprediksi dengan permodelan matematis yaitu dengan ARIMA. Banyak pakar yang

## 26 Peran MST dalam Mendukung *Urban Lifestyle* yang Berkualitas

menyatakan bahwa membangun sebuah model ARIMA yang baik memerlukan pengalaman yang cukup dan pengambilan keputusan yang berwawasan. Metode ini dapat dipergunakan untuk peramalan degradasi lingkungan yang terjadi pada waktu tertentu di suatu tempat pengamatan. Sehingga untuk menghasilkan pengamatan yang baik dan signifikan, perlu dilakukan pengamatan dan pengumpulan data pada beberapa periode. Secara umum dapat dijelaskan bahwa perubahan iklim disebabkan oleh beberapa faktor eksternal yang dapat berubah setiap saat. Dalam perubahan iklim dapat terjadi perubahan struktural dalam hubungan antara variabel bebas dan tidak bebas. Namun perubahan itu tidak dibahas dalam tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Definisi Model dan Klasifikasi model (2012, October 31). Diunduh dari <https://alena02.wordpress.com/2012/10/31/definisi-model-dan-klasifikasi-model/> Tanggal 23 agustus 2016.
- Definisi, Karakteristik dan Prinsip-Prinsip Permodelan Sistem (2010, Juni 21). Diunduh dari <http://info-pemodelan-sistem.blogspot.co.id/2010/06/definisi-karakteristik-dan-prinsip.html> Tanggal 23 agustus 2016.
- Degradasi Lingkungan Hidup (2015, February 14). Diunduh dari <http://www.materisma.com/2015/02/degradasi-lingkungan-hidup.html> Tanggal 13 juli 2016.
- Sampah di Jakarta Diperkirakan Capai 6.000 Ton Per Hari (2015, February 25). Diunduh dari <http://nationalgeographic.co.id/berita/2015/02/sampah-di-jakarta-diperkirakan-capai-6-000-ton-per-hari> Tanggal 23 Agustus 2016.
- Soelaeman, I., (2008), BMP. *Analisis Runtun Waktu (SATS4423)*, Universitas Terbuka.
- Tingkat Degradasi Lingkungan Hidup Di Jakarta. (2010, November 25). Diunduh dari <https://alamendah.org/2010/11/25/tingkat-degradasi-lingkungan-hidup-di-jakarta/> Tanggal 13 juli 2016.
- Triwidiastuti, S.E., (2007). *Model Pengukuran Indeks Kepuasan Pelanggan pada Tahap Penyerahan Jasa (Kasus Transportasi Udara)*.
- Wiryono., (2007). *Menuju Pembangunan Berkelanjutan, Membangun Tanpa Merusak Lingkungan*, Seminar Pembangunan Berkelanjutan, Bengkulu.

