



TUGAS AKHIR - RE 141581

STUDI REDUKSI SULFUR DIOKSIDA (SO_2) UDARA AMBIEN OLEH RUANG TERBUKA (RTH) UNTUK WILAYAH PERMUKIMAN DAN TRANSPORTASI DI KOTA SURABAYA

GUSTI AYU KHRISNA SARASWATI MAHARINI
3313100016

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI REDUKSI SULFUR DIOKSIDA (SO₂)
UDARA AMBIEN OLEH RUANG TERBUKA
(RTH) UNTUK WILAYAH PERMUKIMAN DAN
TRANSPORTASI DI KOTA SURABAYA**

**GUSTI AYU KHRISNA SARASWATI MAHARINI
3313100016**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RE 141581

**STUDY ON REDUCTION OF SULFUR DIOXIDE
(SO₂) IN AMBIENT AIR BY GREENSPACE (RTH)
FOR TRANSPORTATION AND SETTLEMENT
AREA IN SURABAYA**

**GUSTI AYU KHRISNA SARASWATI MAHARINI
3313100016**

Supervisor
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI REDUKSI SULFUR DIOKSIDA (SO₂) UDARA AMBIEN OLEH RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) UNTUK KAWASAN PERMUKIMAN DAN TRANSPORTASI DI KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GUSTI AYU KHRISNA SARASWATI MAHARINI
NRP 3313 100 016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

NIP: 19650508 199303 1 001



STUDI REDUKSI SO₂ UDARA AMBIEN OLEH RUANG TERBUKA (RTH) UNTUK WILAYAH PERMUKIMAN DAN TRANSPORTASI DI KOTA SURABAYA

Nama : Gusti Ayu Khrisna Saraswati Maharini
NRP : 3313100016
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRAK

Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas pencemar udara ambien yang bersumber dari aktivitas transportasi dan permukiman pada kawasan perkotaan di Kota Surabaya. Sulfur dioksida memiliki pengaruh utama pada kesehatan manusia seperti gangguan pernapasan, kanker paru-paru dan emfisema. Telah banyak penelitian yang membuktikan bahwa tanaman termasuk ruang terbuka hijau (RTH) perkotaan mampu mereduksi sulfur dioksida (SO₂) udara ambien. Berdasarkan uraian tersebut, topik reduksi SO₂ udara ambien oleh ruang terbuka hijau (RTH) perlu diteliti sehingga akan diketahui hubungan antara ruang terbuka hijau (RTH) terhadap reduksi SO₂ udara ambien. Dalam penelitian ini akan ditentukan pola konsentrasi SO₂ udara ambien dalam selang waktu 30 menit selama 24 jam, yang dilakukan untuk menentukan pengaruh proporsi ruang terbuka hijau (RTH) terhadap nilai reduksi SO₂ udara ambien.

Penelitian ini menggunakan *Box Model* untuk menentukan luas unit pengukuran, penggunaan data spasial dan data non spasial. Data spasial adalah data citra *Google Earth* area sekitar (SPKU) Kebonsari tahun 2013-2015. Data non spasial adalah data yang berupa rekaman hasil pemantauan kualitas udara dengan parameter SO₂ dan data meteorologi (kecepatan angin, arah angin, kelembaban udara dan temperatur). Data spasial diretifikasi dengan menggunakan *Global Mapper* dan ditentukan proporsi

penggunaan lahan dengan *Arc.View*. Data non spasial berupa arah dan kecepatan angin dianalisis untuk mengetahui posisi, arah dan luas *box* yang akan ditempatkan pada citra teretifikasi. Data kualitas udara SO₂ dianalisis untuk menentukan fluktuasi konsentrasi selama 24 jam, laju perubahan konsentrasi dan kumulatif konsentrasi SO₂ (KSO₂) udara ambien.

Kumulatif konsentrasi SO₂ (KSO₂) selama 24 jam digunakan sebagai indikator reduksi SO₂. Berdasarkan hasil uji statistik, terdapat korelasi antara proporsi ruang terbuka hijau (RTH) terhadap nilai reduksi SO₂ (KSO₂) dan menghasilkan sebuah persamaan regresi linear $Y = -4,822x + 1106,72$. Meningkatnya proporsi RTH akan menurunkan nilai KSO₂. Penurunan nilai KSO₂ mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan reduksi SO₂ dalam udara ambien. Penentuan proporsi ruang terbuka hijau (RTH) adalah solusi untuk mereduksi konsentrasi SO₂ udara ambien.

Kata Kunci: *box model*, kumulatif konsentrasi, reduksi, ruang terbuka hijau, sulfur dioksida (SO₂)

**STUDY ON REDUCTION OF SULFUR DIOXIDE (SO₂) IN
AMBIENT AIR BY GREENSPACE (RTH) FOR
TRANSPORTATION AND SETTLEMENT AREA IN SURABAYA**

Name : Gusti Ayu Khrisna Saraswati Maharini

NRP : 3313100016

Department : Teknik Lingkungan

Supervisor : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M. T.

ABSTRACT

Sulfur dioxide (SO₂) is a pollutant gas of ambient air that is generated from the transportation and residential activities in the city of Surabaya. Sulfur dioxide has dire effects on human health, causing respiratory problems, lung cancer, and emphysema. Numerous researches have proven that plants in green spaces (RTH) in the city are capable of reducing SO₂ of ambient air. Based on that fact, a research on the topic of SO₂ reduction in ambient air by green spaces (RTH) is needed in order to find the effect of RTH on the SO₂ reduction in ambient air. In this research, SO₂ concentration patterns is observed in 30 minute intervals for 24 hours to determine the effect of green spaces (RTH) proportion towards the amount of SO₂ reduction in ambient air.

This research uses *Box Model* to determine the area of measurement, use of spatial and non-spatial data. Spatial data used is *Google Earth* data image (2013 – 2015) of the surrounding area (SPKU) of Kebonsari. Non-spatial data is recorded data of air quality observation with SO₂ parameters and meteorological data (wind speed, wind direction, humidity, and temperature). Spatial data is ratified with *Global Mapper* and the proportion of the used land is determined with *Arc View*. Wind speed and direction is analysed to identify position, direction, and area of *box* placed in ratified data image. SO₂ in air quality data is analysed to determine

SO₂ concentration fluctuations over 24 hours, rate of change in SO₂ concentrations, and the cumulative concentration of SO₂ (KSO₂) in ambient air.

The cumulative concentration of SO₂ (KSO₂) in 24 hours will be used as an indicator of the reduction of SO₂. Based on statistical evaluations, a correlation between the proportion of green spaces (RTH) and the amount of reduction of SO₂ (KSO₂) exists and gives a regressive linear equation of $Y = -4,822x + 1106,72$. An increase in RTH proportion will result in a decrease of KSO₂. A decrease in KSO₂ indicates a reduction of SO₂ in ambient air. Determination of green spaces (RTH) proportion is the solution to reducing SO₂ concentrations in ambient air.

Key words: *box model*, cumulative concentration, reduction, greenspace, sulfur dioxide (SO₂)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Studi Reduksi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien Oleh Ruang Terbuka Hijau Untuk Wilayah Permukiman dan Transportasi di Kota Surabaya ”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran serta bimbingan ilmu yang telah diberikan.
2. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD, Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs., dan Bapak Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM., selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Mama, Papa dan Adik Diah yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya.
4. Ibu Juminah selaku pegawai bagian SDM Kantor Jasa Marga Surabaya, Bapak Wahyu selaku pegawai di Kantor UPT B Laboratorium Beratang yang senantiasa membantu dan memfasilitasi kebutuhan data dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Setia Ningsih, Moh. Ma'ruf, Nur Baiti Danial Putri dan Aisyah Ahmad yang juga sebagai anak bimbingan Pak Irwan.
6. Antara Elektro 2012, Desak Statistika 2013, Wiswa Geomatika 2012, Mbak Hana S2 Teknik Lingkungan dan Kak Wahyu S3 Teknik Lingkungan yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2013, Teman-teman TPKH ITS angkatan 2012,2013 dan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya

menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Udara	5
2.1.1 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara	7
2.2 Sulfur Dioksida	10
2.2.1 Dampak Sulfur Dioksida	12
2.3 Ruang Terbuka Hijau	14
2.3.1 Definisi Ruang Terbuka Hijau	14
2.3.2 Jenis-Jenis Ruang Terbuka Hijau Perkotaan	14
2.3.3 Peran dan Fungsi Ruang Terbuka Hijau (RTH).....	15
2.3.4 Ruang Terbuka Hijau sebagai Reduktor SO ₂	16
2.3.5 Mekanisme Pohon Menyerap SO ₂	18
2.4 Jenis-Jenis Tanaman yang Mereduksi SO ₂ dan Kemampuan Serapan	20

2.5	Penggunaan Lahan Bukan RTH Sebagai Sumber Emisi SO ₂	23
2.6	Pengaruh Meteorologi terhadap Konsentrasi SO ₂ Udara Ambien	24
2.6.1	Konsentrasi SO ₂ Dipengaruhi oleh Kecepatan Angin	26
2.6.2	Konsentrasi SO ₂ Dipengaruhi oleh Suhu Udara.....	27
2.6.3	Konsentrasi SO ₂ Dipengaruhi oleh Kelembaban Udara	28
2.7	Nilai Kumulatif Konsentrasi SO ₂ Selama 24 jam (K _{SO2}) Sebagai Indikator Reduksi SO ₂ Udara Ambien	29
2.8	Uji Korelasi dan Signifikansi	34
2.9	Regresi Linier Sederhana	35
BAB 3 METODE PENELITIAN		39
3.1	Umum	39
3.2	Kerangka Konseptual	39
3.3	Kerangka Penelitian	40
3.3	Deskripsi Kerangka Penelitian	43
3.4	Tahapan Penelitian	46
3.5	Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) Kebonsari	49
4.2	Pengumpulan dan Pemilihan Data.....	51
4.3	Pola Konsentrasi SO ₂ dan Hubungannya dengan Meteorologi.....	58
4.3.1	Pengaruh Suhu Udara Terhadap Konsentrasi SO ₂ Udara Ambien	63

4.3.2	Pengaruh Kelembaban Udara Terhadap Konsentrasi SO ₂ Udara Ambien	65
4.3.3	Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi SO ₂ Udara Ambien	67
4.4	Pengolahan Data Spasial dan Pembuatan Unit Pengukuran	69
4.5	Pengolahan Data Non-Spasial (Perhitungan Kumulatif Konsentrasi SO ₂)	71
4.6	Uji Korelasi dan Signifikansi Variabel RTH dan Non-RTH Terhadap Nilai Reduksi SO ₂	75
4.7	Pengaruh Ruang Terbuka Hijau (RTH) Terhadap Nilai KSO ₂	83
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA		89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan Nilai Konsentrasi SO ₂ di luar dan di dalam.....	25
Gambar 2.2 Nilai Removal SO ₂ Berbagai Musim pada 6 Lokasi	26
Gambar 2.3 Pengaruh Kecepatan Angin (m/s) terhadap Konsentrasi SO ₂ (µg/m ³).....	27
Gambar 2.4 Pengaruh Suhu Udara (°C) terhadap Konsentrasi SO ₂ (µg/m ³)	28
Gambar 2.5 Pengaruh Kelembaban Udara (%RH) terhadap Konsentrasi SO ₂ (µg/m ³).....	29
Gambar 2.6 Box Model.....	30
Gambar 2.7 Konsentrasi SO ₂ selama n periode atau konsentrasi SO ₂ sebagai fungsi waktu $C_t=[mtv]=f(t)$	31
Gambar 2.8 Kurva laju perubahan konsentrasi SO ₂ selama n periode didapatkan dari deferensi kurva konsentrasi SO ₂ fungsi waktu atau $[\Delta C \Delta t]$	32
Gambar 2.9 Luasan antara kurva laju perubahan konsentrasi $[\Delta C \Delta t]$ dan garis $[\Delta C \Delta t = 0]$	33
Gambar 3.1 Kerangka Konseptual Penelitian	39
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian	41
Gambar 4.1 Area Sekitar Stasiun Pemantau Kualitas Udara Kebonsari	49
Gambar 4.2 Stasiun Pemantau Kualitas Udara Kebonsari	50
Gambar 4.3 Citra Google Earth Tanggal 11 September 2013 dan 17 September 2013.....	53
Gambar 4.4 Citra Google Earth Tanggal 30 September 2013 dan 14 November 2013.....	54
Gambar 4.5 Citra Google Earth Tanggal 24 Desember 2013 dan 7 Agustus 2014	55
Gambar 4.6 Citra Google Earth Tanggal 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015.....	56
Gambar 4.7 Citra Google Earth Tanggal 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015.....	57
Gambar 4.8 Pola Konsentrasi SO ₂ 16 Sept 2013	58

Gambar 4. 9 Pola Konsentrasi SO ₂ 8 September 2013.....	59
Gambar 4. 10 Pola Konsentrasi SO ₂ 26 Desember 2013.....	60
Gambar 4.11 Pengaruh Suhu Terhadap Konsentrasi SO ₂	64
Gambar 4.12 Pengaruh Kelembaban Terhadap Konsentrasi SO ₂	66
Gambar 4.13 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi SO ₂	68
Gambar 4.14 Hubungan Pengaruh Proporsi RTH dengan Nilai Reduksi SO ₂	78
Gambar 4.15 Hubungan Pengaruh Proporsi RTH dengan Konsentrasi SO ₂ Rata-Rata	79

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Periode Pengukuran Parameter	51
Tabel 4.2 Data Meteorologi	52
Tabel 4. 3 Hasil Uji Beda Statistik Konsentrasi SO ₂ Siang dan Malam	61
Tabel 4.4 Rata-Rata Proporsi RTH dan Non-RTH Pada Setiap Citra	71
Tabel 4.5 Rata-Rata KSO ₂ untuk Setiap Citra	74
Tabel 4.6 Tabel Korelasi Proporsi RTH Terhadap KSO ₂	76
Tabel 4.7 Tabel Regresi Proporsi RTH Terhadap KSO ₂	77
Tabel 4.8 Uji Signifikansi Proporsi RTH Terhadap KSO ₂	77
Tabel 4.9 Korelasi Proporsi Bangunan Terhadap KSO ₂	80
Tabel 4.10 Uji Signifikansi Proporsi Bangunan Terhadap KSO ₂	81
Tabel 4.11 Korelasi Proporsi Jalan Terhadap KSO ₂	82
Tabel 4.12 Uji Signifikansi Proporsi Jalan Terhadap KSO ₂	82

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	
ANALISIS FAKTOR METEOROLOGI	
TERHADAP SO ₂	91
LAMPIRAN 2	
PERHITUNGAN UNIT PENGUKURAN	95
LAMPIRAN 3	
PERHITUNGAN KSO ₂	99
LAMPIRAN 4	
DELINEASI UNIT PENGUKURAN.....	103
LAMPIRAN 5	
DATA PEMBENTUKAN PERSAMAAN.....	105

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kota Surabaya termasuk dalam kota besar di Indonesia. Kemajuan kota ini didukung oleh beberapa faktor penunjang, diantaranya adalah pendidikan, industri, perdagangan maupun jasa (Widjajanti, 2010). Kemajuan Kota Surabaya juga akan mempengaruhi aktivitas transportasi dan non-transportasi (industri dan rumah tangga). Aktivitas transportasi dan non-transportasi tentunya akan mempengaruhi kualitas udara ambien dimana satu diantaranya adalah keberadaan sulfur dioksida (SO_2) udara ambien.

SO_2 adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak mudah meledak, tidak mudah terbakar, memiliki bau yang tajam jika konsentrasi lebih dari 0,5 ppm, sangat larut dalam air dan menimbulkan rasa jika konsentrasinya 0,3 ppm (Ukpebor *et al.*, 2010).

Pengaruh utama polutan SO_2 terhadap manusia adalah gangguan sistem pernapasan seperti asma, kanker paru-paru, emfisema, dan juga dapat menyebabkan kelahiran prematur (Wall *et al.*, 2009). Konsentrasi gas SO_2 di udara akan mulai terdeteksi oleh indera manusia (tercium baunya) saat konsentrasinya berkisar antara 0,3 – 1 ppm dan menyebabkan iritasi tenggorokan pada paparan SO_2 mencapai 5 ppm (Fardiaz, 1992).

Menurut Krzyzanowski (2012), SO_2 adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik, fasilitas industri, serta pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak seperti lokomotif, kapal, kendaraan, peralatan lainnya serta pembakaran rumah tangga. Emisi dari kegiatan industri, dan interaksinya dengan meteorologi dan topografi, mengakibatkan variasi dispersi atmosfer yang dapat meningkatkan konsentrasi pencemaran udara.

Menurut Wardhana (1995), udara yang benar-benar bersih sulit didapatkan terutama di kota besar yang banyak terdapat industri, pemukiman padat dan lalu lintas padat. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kota yang tercemar memiliki tingkat morbiditas dan mortalitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kota dengan udara yang tidak tercemar (Hankey *et al.*,

2012; Schwela, 2011). Weinstock dan Niki (2012), menyebutkan bahwa SO₂ termasuk dalam gas rumah kaca. Gas rumah kaca inilah yang mengakibatkan bumi semakin panas, sehingga menyebabkan naiknya permukaan air laut karena mencairnya es di kutub utara dan kutub selatan.

Tanaman memiliki jasa lingkungan sebagai penyerap karbondioksida, produsen oksigen, penyerap debu dan partikulat, penyerap kebisingan dan pemecah angin Arlts (2008). Dalam upaya pemecahan masalah konsentrasi SO₂ udara ambien, maka tanaman di perkotaan lebih difungsikan sebagai penyerap polutan.

Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah kunci dari kualitas hidup perkotaan. RTH mempengaruhi kesejahteraan dan kenyamanan manusia dengan kemampuannya untuk menyediakan ekosistem, menangkap polutan, dan dapat mencegah banjir. RTH juga bagian dari tempat berinteraksi antar makhluk hidup (Carrus *et al.*, 2015 ; Chiesura, 2004 ; Dobbs *et al.*, 2014 ; Larondelle *et al.*, 2014 ; Lee dan Maheswaran, 2011 ; Marselle *et al.*, 2015).

RTH adalah bagian penting dari struktur pembangunan kota dan memiliki fungsi utama sebagai penunjang ekologis, serta berperan sebagai pendukung nilai kualitas lingkungan suatu kota (Ramadhan dan Iwan, 2012). Penelitian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara kemampuan RTH dalam mereduksi sulfur dioksida, dengan menggunakan metode *Box Model* dan rekaman Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) dengan parameter udara SO₂ dan data meteorologi. SPKU yang digunakan berlokasi di Kebonsari, Kota Surabaya. SPKU ini akan mewakili daerah pemukiman dan daerah transportasi karena berada dekat dengan jalan Tol Surabaya-Gempol.

1.2 Rumusan Masalah

Surabaya adalah satu diantara kota besar di Indonesia. Kemajuan kota yang dilihat dari adanya aktivitas transportasi dan permukiman akan mempengaruhi kualitas udara di Kota Surabaya. Keberadaan RTH mempengaruhi konsentrasi polutan dalam udara ambien, karena RTH berfungsi untuk mereduksi polutan. Maka dari itu, topik mengenai studi reduksi SO₂ udara ambien oleh RTH perlu diteliti sehingga ditentukan pola konsentrasi SO₂ udara untuk selang waktu 30 menit selama 24 jam yang dilakukan untuk

menentukan pengaruh proporsi RTH terhadap nilai reduksi SO₂ (KSO₂) udara ambien.

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menentukan pola konsentrasi SO₂ udara ambien untuk selang waktu 30 menit selama 24 jam (1 hari).
2. Menentukan pengaruh proporsi RTH terhadap nilai reduksi (kumulatif konsentrasi) SO₂ udara ambien selama 24 jam (1 hari).

1.4 Ruang Lingkup

Batasan-batasan yang digunakan dalam proposal ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian di area sekitar SPKU Kebonsari Kota Surabaya yang terletak di halaman kantor Kelurahan Kebonsari. Stasiun pemantau ini sebagai stasiun pemantau kualitas udara untuk mewakili daerah pemukiman dan daerah transportasi.
2. Tahun pengamatan 2013-2015.
3. Periode pengamatan adalah satu hari (24 jam).
4. Parameter yang digunakan adalah SO₂ dan data meteorologi (kecepatan dan arah angin, kelembaban, temperatur).
5. Periode nilai reduksi massa SO₂ adalah 24 jam karena pertimbangan siklus meteorologi.
6. Penggunaan citra *Google Earth* untuk menentukan proporsi RTH dan non-RTH dari tahun 2013-2015.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada bidang IPTEK yaitu memberikan informasi mengenai pengaruh proporsi RTH dalam mereduksi sulfur dioksida dari hasil aktivitas manusia di Kota Surabaya.
2. Untuk masyarakat manfaat yang dapat diperoleh adalah :
 - a. Memberikan wawasan terkait bahaya emisi SO₂ udara ambien untuk upaya perbaikan kesehatan masyarakat.

- b. Meminimalkan dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh emisi SO₂ udara ambien yang terhirup oleh masyarakat.
3. Untuk Pemerintah Kota Surabaya yaitu menjadi bahan masukan dan pertimbangan bagi pihak pemerintah Kota Surabaya dalam merencanakan proporsi RTH untuk upaya remediasi polutan yang ada di Kota Surabaya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, pencemaran udara adalah peristiwa masuknya, atau tercampurnya, polutan (unsur-unsur berbahaya) ke dalam lapisan udara (atmosfer) yang dapat mengakibatkan menurunnya kualitas udara (lingkungan). Pada era modern ini, sejalan dengan perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi, maka kualitas udara pun mengalami perubahan yang disebabkan oleh terjadinya pencemaran udara, atau sebagai berubahnya salah satu komposisi udara dari keadaan yang normal; yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman (BPLH DKI Jakarta, 2013).

Menurut Wark dan Warner (2007), pencemaran udara berdasarkan asalnya dikelompokkan menjadi 2 yaitu :

1. Polutan primer adalah polutan yang langsung ditimbulkan dari sumber polusi dan langsung dipancarkan ke atmosfer. Terdiri partikulat matter, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida dan *chlorofluorocarbon* (CFC). Polutan primer dapat berasal dari *Stationary Sources*, *Mobile Sources* dan *Natural Sources*.
2. Polutan sekunder adalah polutan yang terbentuk saat polutan primer bereaksi atau berinteraksi dengan material lain di udara dan membentuk polutan lain yang lebih berbahaya. Yang termasuk polutan sekunder misalnya adalah ozon.

Polutan merupakan zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Suatu zat dapat disebut polutan, apabila jumlahnya melebihi jumlah normal, berada pada waktu yang tidak tepat dan berada pada tempat yang tidak tepat. Sifat polutan adalah :

1. Merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi

dengan zat lingkungan tidak merusak lagi.

2. Merusak dalam jangka waktu lama. Contohnya, suatu zat tidak merusak bila konsentrasinya rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkat yang merusak.

Faktor-faktor penyebab pencemaran dimana yang menyebabkan dominannya pengaruh sektor transportasi terhadap pencemaran udara perkotaan di Indonesia menurut Purwanti (2008) antara lain :

- a. Perkembangan jumlah kendaraan cepat (eksponensial).
- b. Tidak seimbang prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada.
- c. Pola lalu lintas perkotaan berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran di pusat kota.
- d. Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah permukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota.
- e. Kesamaan waktu aliran lalu lintas.
- f. Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor.
- g. Faktor perawatan kendaraan.
- h. Jenis bahan bakar yang digunakan
- i. Jenis permukaan jalan.
- j. Siklus dan pola mengemudi (*driving pattern*).

Menurut Kastiyowati (2001) jenis-jenis pencemaran udara adalah sebagai berikut :

1. Menurut bentuk : gas dan partikel
2. Menurut tempat : ruangan (*indoor*) dan udara bebas (*outdoor*).
3. Menurut asal : primer dan sekunder

Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan manusia tidak dapat dibantah lagi, baik polusi udara yang terjadi di alam bebas (*outdoor air pollution*) ataupun yang terjadi di dalam ruangan (*indoor air pollution*), polusi yang terjadi di luar ruangan terjadi karena bahan pencemar yang berasal dari industri, transportasi, sementara polusi yang terjadi di dalam ruangan dapat berasal dari asap rokok dan gangguan sirkulasi udara.

Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara kedalam

tubuh manusia, yaitu melalui inhalasi, ingetasi dan penetrasi kulit. Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui sistem pernapasan. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernapasan, selain itu bahan pencemar ini kemudian masuk dalam peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh yang lain.

Akibat-akibat yang timbul pada tubuh manusia karena bahan pencemar udara dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis bahan pencemar, toksisitasnya dan ukuran partikelnya. Bahan seperti Sulfur Dioksida (SO_2) dapat mengiritasi mukosa saluran pernapasan, yang berakibat pada peningkatan insiden penyakit saluran pernapasan kronik yang non spesifik (CNSRD atau *Chronic non specific respiratory diseases*) (Budiyono,2001).

2.1.1 Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara

Menurut Soenarno (1999), faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme penyebaran pencemaran udara antara lain adalah sumber emisi dan atmosfer lokal.

A. Sumber Emisi

Sumber emisi adalah tempat atau lubang dikeluarkannya zat pencemar menuju atmosfer. Sumber emisi tersebut memiliki karakteristik dan bentuk fisik yang berbeda-beda mulai dari segi luas, bentuk dan tinggi lubang.

Geometri di sekitar sumber emisi merupakan keadaan tata ruang di sekitar sumber emisi, antara lain berupa bentuk dan ukuran bangunan sekitar dan jenis tanaman di sekitar sumber emisi. Keadaan tersebut berpengaruh terhadap pola sebaran zat pencemar yang melewati kawasan tersebut.

Bahan bakar yang digunakan oleh sumber emisi bentuknya berbeda-beda, baik itu berupa cair (minyak tanah, bensin), gas (hidrogen, LPG), padatan (kayu, batubara), ataupun nuklir. Oleh karena itu, jenis zat

pencemar hasil emisi dari masing-masing pembakaran bahan bakar tersebut juga berbeda.

B. Faktor Meteorologi

Pada dasarnya mempelajari dinamika atmosfer tidak sederhana. Berbagai macam proses terjadi di dalamnya mulai dari pergerakan molekul, turbulensi, perpindahan panas, reaksi kimia, presipitasi, perpindahan massa udara dan sebagainya. Proses-proses tersebut saling berkaitan satu sama lain sehingga membentuk suatu sistem yang seimbang.

Ketidakeimbangan sistem dapat terjadi ketika adanya kerusakan atau gangguan. Hal tersebut dapat berupa fenomena alam atau dapat juga disebabkan oleh tangan-tangan manusia, salah satunya zat pencemar dari asap pabrik.

Pergerakan dan konsentrasi zat pencemar yang keluar menuju atmosfer setelah diemisikan dari sumbernya, sangat bergantung pada kondisi meteorologis di masing-masing daerah. Kondisi meteorologis tersebut antara lain adalah angin, suhu udara, stabilitas atmosfer, kelembaban relatif (RH) dan curah hujan.

- Angin

Angin memiliki arah dan kecepatan. Arah menentukan kemana angin tersebut berhembus dan kecepatan menentukan laju angin tersebut. Arah angin berperan penting dalam membawa ke arah mana zat pencemar tersebut terdispersikan sedangkan kecepatan angin berpengaruh terhadap besarnya konsentrasi zat pencemar tersebut ketika terdispersi. Kecepatan angin yang besar menyebabkan partikel zat pencemar terurai sehingga konsentrasinya akan lebih rendah dan sebaliknya.

Jenis angin yang paling berpengaruh terhadap penyebaran zat pencemar tersebut adalah angin lokal

(Schnelle dan Dey 2000). Terdapat berbagai jenis angin lokal, diantaranya adalah angin darat dan angin laut ; angin gunung dan angin lembah.

Penyebaran zat pencemar juga dipengaruhi oleh profil vertikal angin yang selalu berubah terhadap waktu dan tempat. Kekasaran permukaan yang berbeda-beda pada masing-masing daerah seperti perumahan, pepohonan, bangunan dan pegunungan berpengaruh terhadap profil geser angin karena memiliki gaya gesek yang bervariasi. Aliran permukaan yang melewati permukaan kasar (*shear stress*) tersebut akan menimbulkan terjadinya turbulensi. Pada kondisi ini, zat pencemar akan bergerak dan terdispersikan secara acak di dalam atmosfer.

- Suhu dan Stabilitas Atmosfer

Suhu udara bervariasi pada setiap ketinggian lapisan atmosfer. Pada lapisan troposfer, suhu udara menurun dengan bertambahnya ketinggian atau biasa disebut dengan *lapse rate*, tetapi pada keadaan tertentu di dekat permukaan sering ditemukan keadaan inversi yaitu ketika suhu udara naik dengan bertambahnya ketinggian.

Kondisi inversi yaitu suhu udara naik dengan bertambahnya ketinggian, merupakan kondisi yang sangat buruk dalam kaitannya dengan penyebaran zat polutan karena pada kondisi ini zat polutan tidak akan dapat naik ke atas melainkan akan cenderung untuk kembali ke permukaan dikarenakan suhu parcel udara lebih dingin dibandingkan udara di atasnya sehingga parcel akan cenderung menuju ke ketinggian awalnya.

- Kelembaban Relatif (RH) dan Curah Hujan (CH)
Kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terdapat dalam udara dalam fase gas.
Kelembaban relatif ini cukup penting dalam pengaruhnya terhadap pencemaran udara karena dapat mempengaruhi jarak pandang. Kandungan uap air ketika mengembun akan membentuk kabut yang dapat mempengaruhi pandangan. Selain itu, uap air dalam jumlah yang banyak dapat menghalangi radiasi matahari yang masuk ke bumi sehingga akan menghambat radiasi matahari tersebut untuk memecah inversi. Hal tersebut akan mengakibatkan zat pencemar yang berada di udara lebih lama di atmosfer. Uap air yang mengembun menjadi kabut juga akan mengakibatkan perubahan SO_3 menjadi H_2SO_4 menjadi lebih unsur yang berbahaya bagi makhluk hidup.

2.2 Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida adalah gas yang dikenal sebagai gas SO_2 . Sulfur dioksida adalah gas yang memiliki sifat bau yang tajam, tidak berwarna, tidak mudah meledak, tidak mudah terbakar dan sangat larut dalam air (Ukpebor *et al.*, 2010).

Menurut Krzyzanowski (2012), sulfur dioksida (SO_2) adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik, fasilitas industri, serta pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak seperti lokomotif, kapal, kendaraan, peralatan lainnya serta pembakaran rumah tangga. Emisi dari kegiatan industri, dan interaksinya dengan meteorologi dan topografi, mengakibatkan variasi dispersi atmosfer yang dapat meningkatkan konsentrasi pencemaran udara. Gas tersebut akan bertemu dengan oksigen yang ada di udara dan kemudian membentuk gas SO_3 .

Sulfur dioksida merupakan polutan yang memberikan kontribusi pada deposisi asam, yang dapat mencemari kualitas air

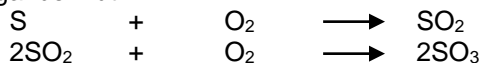
dan air tanah. Dampak selanjutnya dari endapan asam dapat menyebabkan efek buruk pada ekosistem air di sungai, danau, kerusakan hutan, tanaman dan tumbuhan lainnya. Pengasaman juga dapat merusak bangunan (Koukouli *et al.*, 2016).

Sekitar 50% SO₂ yang ada dalam atmosfer di seluruh dunia adalah alamiah, dan 50% lainnya adalah antropogenik, yaitu berasal dari kegiatan manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil (BBF), emisi kendaraan bermotor, *biofuels*, aktivitas industri misalnya peleburan logam, pembakaran (*fires*), dan *electricity generation*. Minyak mentah mengandung BBF antara 0,1% sampai 3% dan teroksidasi menjadi belerang oksida (SO₂) dan lepas ke udara. Oksida belerang itu selanjutnya berubah menjadi asam sulfat (Soemarwoto, 1992).

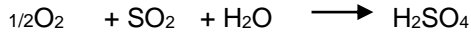
Menurut Sinha dan Battacharya (2016), pertumbuhan yang cepat dalam industrialisasi di India berjalan secara signifikan terutama dalam konsumsi bahan bakar fosil. Efek samping dari pertumbuhan industri ini juga berpengaruh pada meningkatnya polusi udara ambien. Dalam dekade terakhir, emisi SO₂ di India telah naik 54% (Haq *et al.*, 2015 dan Lu *et al.*, 2011).

Emisi SO₂ udara ambien dapat mempengaruhi atmosfer bagian troposfer, SO₂ dianggap sebagai polutan utama dalam kasus yang dianalisis ini, aerosol sulfur yang dominan terbentuk di area ini dominan disebabkan oleh emisi SO₂ (Surratt *et al.*, 2007). Selain itu SO₂ larut dalam uap air dan membentuk asam sulfat dalam bentuk hujan asam. Bentuk dari aerosol setelah bereaksi dengan *particulate matters* dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan dapat menyebabkan kelahiran prematur. Dengan adanya alasan tersebut, kehadiran emisi SO₂ dapat memunculkan dampak yang serius pada udara ambien dan pada kesehatan manusia.

Secara umum, proses pembentukan gas sulfur oksida hasil pembakaran bahan bakar fosil mengikuti mekanisme reaksi sebagai berikut :



Lebih jauh, gas SO₂ ini telah menimbulkan hujan asam sebagai hasil reaksi :



2.2.1 Dampak Sulfur Dioksida

Pada tingkat konsentrasi tertentu zat-zat pencemar udara dapat berakibat langsung terhadap kesehatan manusia, baik secara mendadak atau akut, menahun atau kronis/sub-klinis dan dengan gejala-gejala yang samar. Dimulai dari iritasi saluran pernafasan, iritasi mata, dan alergi kulit sampai pada timbulnya kanker paru-paru. Gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara dengan sendirinya mempengaruhi daya kerja seseorang, yang berakibat turunnya nilai produktivitas serta mengakibatkan kerugian ekonomis pada jangka panjang dan timbulnya permasalahan sosial ekonomi keluarga dan masyarakat Budiyo (2001).

Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*), paparan jangka pendek ke tingkat tinggi pada manusia SO_2 dapat menyebabkan efek yang membahayakan pada fungsi pernapasan, khususnya bagi mereka yang menderita asma. Paparan jangka panjang dari SO_2 hasil pembakaran dapat mengganggu fungsi paru-paru, penyakit pernapasan, dan apabila kadar SO_2 5 ppm atau lebih, dapat menyebabkan iritasi tenggorokan. Bahkan pada konsentrasi SO_2 sebesar 1-2 ppm sudah dapat menyebabkan iritasi pada beberapa individu (Jacobson, 2002).

WHO menetapkan baku mutu SO_2 adalah $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau 0,0477 ppm (waktu paparan 24 jam). Sementara menurut EPA adalah $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau 0,49 ppm untuk waktu paparan 3 jam.

Peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 Tahun 2009 menetapkan bahwa baku mutu dari SO_2 adalah 0,1 ppm atau $262 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Penelitian yang dilakukan oleh WHO mengenai paparan sulfur dioksida dengan waktu paparan pendek (kurang dari 24 jam) dan waktu paparan lebih dari 24 jam. Hasil dari pemaparan pendek yang dilakukan selama beberapa menit sampai satu jam memberikan efek berkurangnya kemampuan inhalasi, pengurangan FEV1 (Volume Ekspirasi Paksa), berkurangnya kapasitas ventilasi, peningkatan resistensi saluran pernapasan tertentu dan timbul gejala seperti mengi (sesak napas).

Waktu paparan lebih dari 24 jam bersumber dari aktivitas transportasi yang saat ini mendominasi dan aktivitas industri yang

dapat menimbulkan masalah kematian akibat masalah pada jantung, pernapasan dan penyakit paru-paru obstruktif kronik di tingkat bawah paparan (berarti tingkat tahunan di bawah $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan harian biasanya tidak melebihi dari $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

SO_2 dianggap pencemar yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang dalam usia lanjut dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernapasan kardiovaskular. Individu dengan gejala penyakit tersebut sangat sensitif terhadap kontak dengan SO_2 meskipun dalam konsentrasi yang rendah.

Menurut Eichert dan Fernandez (2012), kehadiran SO_2 sebagai polutan di udara juga dapat berdampak buruk terhadap tumbuhan apabila sudah melewati ambang toleransi dari tumbuhan. Pencemaran SO_2 menimbulkan dampak yaitu kerusakan tanaman yang dapat terjadi pada kadar sebesar 0,5 ppm. Polutan masuk ke dalam daun melalui stomata dan polutan yang terambil oleh stomata mempengaruhi secara langsung metabolisme dari tumbuhan termasuk pertumbuhan tumbuhan, berkurangnya kemampuan fotosintesis dan adanya bercak pada daun. Kerusakan dapat diperparah saat kelembaban udara tinggi dikarenakan sulfur dioksida berubah menjadi asam sulfat yang dapat mencuci kandungan magnesium pada daun. Kekurangan magnesium pada daun dapat menyebabkan kerusakan pinggiran daun dan daerah di antara tulang rusuk daun.

Tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran udara tinggi dapat terganggu pertumbuhannya dan menjadi tumbuhan yang rawan penyakit. Penyakit tumbuhan yang dapat timbul antara lain, klorosis, nekrosis dan munculnya bintik hitam. Walaupun konsentrasi gas SO_2 yang terdispersi ke lingkungan dalam kadar rendah, namun bila waktu kontak terhadap tanaman cukup lama maka kerusakan tanaman dapat saja terjadi.

Konsentrasi sekitar 0,5 ppm sudah dapat merusak tanaman. Jika waktu paparan lama, maka dapat menyebabkan daun pohon berguguran. Hal ini dapat menyebabkan produktivitas tanaman menurun akibat terhambatnya proses fotosintesis.

2.3 Ruang Terbuka Hijau

2.3.1 Definisi Ruang Terbuka Hijau

Menurut peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 (2008), pengertian ruang terbuka hijau (RTH) adalah area memanjang/jalur dan atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Ruang terbuka hijau kota merupakan bagian dari penataan ruang perkotaan yang berfungsi sebagai kawasan lindung.

Sementara, ruang terbuka non hijau adalah ruang terbuka di wilayah perkotaan yang tidak termasuk dalam kategori RTH, berupa lahan yang diperkeras maupun yang berupa badan air (Muzayanah, 2016). Ruang terbuka hijau terbagi atas ruang terbuka hijau privat dan ruang terbuka hijau publik. Ruang terbuka hijau privat adalah ruang terbuka hijau milik institusi tertentu atau perseorangan yang pemanfaatannya untuk kalangan terbatas antara lain berupa kebun atau halaman rumah/gedung milik masyarakat atau swasta yang ditanami tumbuhan. Adapun ruang terbuka hijau publik adalah ruang terbuka hijau yang dimiliki dan dikelola oleh pemerintah daerah kota/kabupaten yang digunakan untuk kepentingan masyarakat umum (Muzayanah, 2016).

Ruang terbuka hijau (RTH) adalah ruang-ruang terbuka (*open spaces*) di berbagai tempat di suatu wilayah perkotaan yang secara optimal digunakan sebagai daerah penghijauan dan berfungsi, baik secara langsung maupun tidak langsung untuk kehidupan dan kesejahteraan manusia atau warga kotanya selain untuk kelestarian dan keindahan lingkungan. RTH adalah salah satu komponen pembentuk ruang atau wilayah perkotaan yang memiliki peranan penting dalam menyangga (*biofiltering*), mengendalikan (*biocontrolling*) dan memperbaiki (*bioengineering*) kualitas kehidupan suatu wilayah perkotaan. Karena itu, RTH juga dinyatakan sebagai bagian dari ruang fungsional suatu wilayah perkotaan yang dapat meningkatkan kualitas fisik, non fisik, dan estetika alami suatu kota.

2.3.2 Jenis-Jenis Ruang Terbuka Hijau Perkotaan

Menurut Irwan (2007), berdasarkan fungsi utamanya, RTH dapat dibagi menjadi :

1. Pertanian perkotaan, fungsi utamanya adalah untuk mendapatkan hasilnya untuk konsumsi yang disebut dengan hasil pertanian kota seperti hortikultura.
2. Taman kota, mempunyai fungsi utama untuk keindahan dan interaksi sosial.
3. Hutan kota, mempunyai fungsi utama untuk peningkatan kualitas lingkungan.

2.3.3 Peran dan Fungsi Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Menurut Peraturan Menteri PU No. 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang terbuka Hijau di kawasan perkotaan, RTH memiliki beberapa peran dan fungsi, yaitu :

1. Fungsi ekologis (fisik) : Memberi jaminan pengadaan RTH menjadi bagian dari sistem sirkulasi udara (paru-paru kota), pengatur iklim mikro agar sistem sirkulasi udara alami dapat berlangsung lancar, sebagai peneduh, produsen oksigen, penyerap air hujan, penyedia habitat satwa, penyerap (pengolah) polutan media udara, air dan tanah, serta penahan angin.
2. Fungsi sosial, ekonomi (produktif) dan budaya : RTH mampu menggambarkan ekspresi budaya lokal, RTH merupakan media komunikasi warga kota, tempat rekreasi, tempat pendidikan dan penelitian.
3. Ekosistem perkotaan : RTH sebagai produsen oksigen, tanaman berbunga, berbuah dan berdaun indah, serta dapat menjadi bagian dari usaha pertanian, kehutanan dan lainnya.
4. Fungsi estetis : RTH dapat meningkatkan kenyamanan, memperindah lingkungan kota baik dari skala mikro (halaman rumah dan lingkungan permukiman) dan skala makro (landskap kota secara keseluruhan). RTH juga dapat menstimulasi kreativitas dan produktifitas warga kota.

2.3.4 Ruang Terbuka Hijau sebagai Reduktor SO₂

Ruang terbuka hijau adalah penempatan tumbuhan sebagai fitostruktur pembentuk struktur ekosistem wilayah (Mangkoediharjo dan Samudro, 2010). Kata tumbuhan digunakan untuk menunjukkan tumbuhan pada umumnya (*plants*). Jika tumbuhan dibudidayakan untuk maksud konsumsi atau ekonomi, maka tumbuhan disebut sebagai tanaman (*crops*). Semua bagian tumbuhan memiliki jasa lingkungan. Tumbuhan memiliki jasa lingkungan sebagai penyerap gas pencemaran udara, produsen oksigen, penyerap debu (partikulat), penyerap kebisingan, pemecah angin dan penyimpan air dalam tanah Artls (2008).

Dalam sebuah penelitian di Perancis (Juli 2012-Juni 2013) dengan i-Tree Eco model menyebutkan bahwa reduksi polusi udara oleh tanaman yaitu pohon adalah sebesar 89 ton polutan selama periode satu tahun. Yaitu sekitar 1 ton untuk CO ; 14 ton untuk NO₂ ; 56 ton untuk O₃, 12 ton untuk PM10 ; 5 ton untuk PM 2,5 dan 1 ton untuk SO₂ (Selmi *et al.*, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Hu *et al.*, (2016) menunjukkan bahwa tanaman sebagai ruang terbuka hijau dapat menurunkan konsentrasi SO₂ udara ambien. Fokus penelitian adalah korelasi antara konsentrasi SO₂ dengan proporsi tutupan kanopi tanaman. Ada kecendrungan konsentrasi SO₂ udara ambien akan semakin kecil jika proporsi tutupan kanopi tanaman semakin besar.

Penelitian di China oleh Jim dan Chen (2008) menyebutkan bahwa Cina memiliki permasalahan lingkungan yang utama yaitu pencemaran udara. Keberadaan dari ekosistem perkotaan berupa ruang hijau mampu mereduksi SO₂ sekitar 312.03 Mg dan menghasilkan keuntungan bagi pemerintahan. Disadari bahwa reduksi polusi udara menjadi lebih besar ketika lahan rekreasi menggunakan tutupan pohon (kanopi) yang lebih tinggi.

Sementara sebuah penelitian yang dilakukan oleh Karteris *et al.*, (2016) di daerah Mediteranian, dimana penelitian ini menggunakan metode GIS untuk menilai potensi *green roof* dalam menyerap polusi udara dan juga manfaat *green roof*. Penelitian ini menyebutkan bahwa *green roof* adalah sebuah teknologi bangunan yang menggunakan tumbuhan di atas bangunan untuk mengurangi permasalahan di perkotaan. *Green roof* mampu mengatasi permasalahan seperti mereduksi polusi udara ambien,

menjaga kualitas air dan kesehatan masyarakat. Hasil dari penelitian ini juga menyebutkan bahwa kemampuan tanaman *green roof* dalam mereduksi polutan bergantung pada jenis tanaman yang ditanam.

Sebuah penelitian di Chicago oleh Yang *et al.*, (2008), menyebutkan bahwa *Green roofs* atau atap hijau yaitu melibatkan tumbuhnya vegetasi di atas atap dan sebagai salah satu cara yang dapat membantu untuk mengurangi efek negatif dari polusi udara. Selain itu *green roofs* juga berfungsi untuk mengurangi limpasan air hujan, meningkatkan kualitas air, menghemat energi, mengurangi panas di perkotaan, sebagai cara untuk mengurangi kebisingan, penyerap polusi udara, dan menyediakan lingkungan yang lebih asri. Model deposisi kering menunjukkan pengukuran dengan adanya penggunaan atap hijau terhadap polusi udara dengan kemampuan reduksi sebanyak O₃ (52%) ; NO₂ (27%) ; PM10 (14%) dan khususnya SO₂ (7%). Penelitian ini membuktikan bahwa tanaman mampu mereduksi polutan SO₂.

Penelitian di Toronto oleh Currie dan Bass (2008) yang meneliti mengenai pengaruh dari keberadaan atap hijau terhadap reduksi polusi udara dengan menggunakan *Urban Forest Effects* (UFORE) model deposisi kering yang dikembangkan oleh USDA *Forest Service*. Dari hasil penelitian ini, diketahui bahwa keberadaan *green roofs* dapat mengurangi polusi NO₂, SO₂, CO₂, PM10 dan PM 2,5. Hasil perhitungan ini didasarkan pada tutupan vegetasi dan data konsentrasi polutan. Pohon lebih efektif dalam mereduksi kontaminan dibandingkan dengan (*herbaceous perennials*) dan semak.

Penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.*, (2016) di Shanghai menyebutkan bahwa keberadaan *vegetation barriers* (hambatan vegetasi) yang banyak diterapkan di jalan-jalan perkotaan mampu menjaga kualitas udara di pinggir jalan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dimana diambil contoh adalah gas SO₂. Dalam kondisi angin tegak lurus, pengurangan SO₂ menonjol di atas jalur vegetasi, yang menunjukkan bahwa tanaman di pinggir jalan mampu mereduksi SO₂ udara ambien dan juga bergantung pada ketinggian hambatan vegetasi.

Pada dasarnya gas SO₂ sangat mudah diserap oleh daun tanaman, karena gas ini sangat mudah larut di dalam protoplasma

sel. Kandungan sulfur pada daun akan bervariasi menurut jenis tanaman dan lokasi penanaman. Tingginya kadar SO₂ disebabkan oleh masuknya SO₂ ke dalam stomata daun tumbuhan yang memiliki daya serap tinggi terhadap SO₂. Menurut Legge dan Krupa (2002) contoh tumbuhan yang memiliki daya serap tinggi terhadap gas SO₂ adalah *Geranium carolinianum* L. Dan *Lolium perenne* L.

Sebagai contoh penelitian yang dilakukan oleh Dwivedi *et al.*, (2008) di India. Penelitian ini menganalisis mengenai pengaruh SO₂ udara ambien pada kandungan sulfat dalam daun Pohon Bodhi (*Ficus religiosa*). Dari hasil analisis data, didapatkan bahwa dalam daun Pohon Bodhi terdapat kandungan ion sulfat (SO₄²⁻) yang dihasilkan dari adanya SO₂ dalam udara ambien.

Meningkatnya kandungan sulfat dalam daun bergantung pada kadar SO₂ dalam udara ambien karena tanaman akan terus mengakumulasi polutan saat tanaman tersebut terpapar (Prasanna *et al.*, 2005). Beberapa studi menyatakan bahwa daun yang baru tumbuh menunjukkan konsentrasi sulfat yang sangat rendah. Hasil penelitian dari Dwivedi *et al.*, (2008) menunjukkan bahwa akumulasi polutan dalam daun meningkat seiring dengan semakin tuanya umur daun. Hal ini disebabkan karena daun yang muda memiliki pori yang lebih sedikit dibandingkan daun yang tua, sehingga SO₂ yang masuk (polutan yang masuk) jumlahnya menjadi lebih sedikit.

2.3.5 Mekanisme Pohon Menyerap SO₂

Menurut Yang *et al.*, (2005), pohon dapat mengurangi polusi udara dalam dua cara : (1) reduksi langsung, dan (2) reduksi tidak langsung. Reduksi secara langsung adalah pohon mampu mengabsorpsi polutan berupa gas dan salah satunya adalah sulfur dioksida (SO₂) melalui stomata daun yang membuka dan menutup untuk mempersilahkan polutan yang bersifat larut dalam air masuk ke permukaan daun bagian dalam. Reduksi secara tidak langsung adalah pohon mampu mengubah meteorologi lokal seperti kelembaban dan temperatur.

Nowak *et al.*, (2006) menyebutkan bahwa pohon mereduksi polusi udara berupa gas dengan menyerapnya melalui stomata daun. Di dalam daun gas berdifusi menuju ruang *intercellular* dan

terabsorpsi oleh *water films* dalam daun untuk membentuk asam atau bereaksi dengan permukaan bagian dalam daun.

Menurut Legge dan Krupa (2002), mekanisme polutan terserap oleh pohon adalah polutan yang berupa gas terabsorpsi menuju jaringan pohon melalui stomata bersama dengan CO₂ saat proses fotosintesis dan bersama O₂ saat proses respirasi. Setelah masuk tanaman, proses transfer dan proses asimilasi dapat menghilangkan polutan. SO₂ akan bereaksi dengan air dalam dinding sel daun kemudian membentuk *sulfurous* dan *sulfuric acids*. Asam ini akan bereaksi dengan komponen makanan lain dan diantarkan pada bagian tanaman yang lainnya.

Budiyono (2001) menyebutkan bahwa gas pencemar masuk ke jaringan daun melalui lubang stomata yang berada pada epidermis atas. Masing-masing stomata dapat membuka jika tekanan air internal berubah, yang merupakan lubang keluar masuk polutan walaupun secara umum terdapat kutin pada jaringan epidermis atas, gas pencemar dapat masuk ke jaringan daun melalui sedikit stomata.

Kemampuan penyerapan polutan dipengaruhi oleh kondisi tanaman seperti kepadatan dan struktur tanaman (Shan *et al.*, 2011). Pada area bervegetasi pohon tinggi lebih banyak mampu mereduksi polutan dibandingkan dengan area bervegetasi semak. (Escobedo dan Nowak., 2009 ; Nowak *et al.*, 2006 ; Tallis dan Polasky., 2011).

Gas SO_x selain masuk ke daun melalui stomata daun, juga dapat masuk melalui lenti sel/kutikula. Oleh sebab itu, tetap sama berbahaya untuk tanaman jenis *deciduous plants* (jenis yang menggugurkan daun). Gas SO₂ masuk ke daun dan berubah menjadi bisulfit (HSO₃⁻) yang non-toxic dan sulfit (SO₃⁻). Kedua senyawa tersebut akan berubah menjadi sulfat yang relatif kurang toxic. Kehadiran sulfit 30 kali lebih merusak dibandingkan sulfat. Jika laju pembentukan HSO₃⁻ dan SO₃⁻ lebih cepat dibandingkan pembentukan SO₄⁻ maka akan terjadi kerusakan pada daun, namun jika sebaliknya maka kerusakan tidak akan mudah terlihat.

Penelitian yang dilakukan oleh Silvius *et al.*, (1976) pada daun bayam menyampaikan bahwa tanaman menyerap SO₂ dengan memperhitungkan kemampuan metabolisme dan reaksi fitotoksis yang terjadi pada tanaman tersebut. Penyerapan polutan oleh daun tanaman bergantung pada kelarutan SO₂ dalam air.

Menurut Nowak *et al.*, (2006) jumlah polutan yang mampu direduksi oleh tanaman atau pohon bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. Besarnya kanopi tanaman (*tree cover*)
- b. Konsentrasi polutan pada udara ambien
- c. Umur hidup daun (*length of in-leaf season*). Semakin lama umur hidup daun, maka akan semakin banyak polutan yang mampu direduksi.
- d. Jumlah curah hujan (semakin meningkatnya curah hujan, menyebabkan berkurangnya removal dengan deposisi kering).
- e. Variabel meteorologi yang mempengaruhi transpirasi tumbuhan dan kemampuan deposisi (faktor yang menyebabkan peningkatan kecepatan deposisi akan menyebabkan *flux* kebawah menjadi lebih besar dan total *removal* menjadi lebih besar).

Menurut Dahlan (2004), faktor lain yang mempengaruhi pohon dalam menyerap polutan berupa gas adalah :

- a. Daya kelarutan polutan dalam air
- b. Kelembaban lingkungan di sekitar daun
- c. Intensitas cahaya matahari
- d. Keadaan saat penyerapan (gelap/terang).

Pemilihan jenis pohon dalam fungsinya mereduksi polutan yang berupa gas dapat didasarkan pada :

- a. Pohon yang memiliki banyak stomata
- b. Pohon/tanaman yang tahan terhadap gas tertentu
- c. Pohon yang memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat.

2.4 Jenis-Jenis Tanaman yang Mereduksi SO₂ dan Kemampuan Serapan

Sebuah penelitian dilakukan oleh Endes dan Dahlan (2014) di PT International Nickel Indonesia Tbk. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan pohon dalam menyerap gas SO_x.

Aktivitas peleburan bijih nikel di pabrik PT International Nickel Indonesia Tbk menghasilkan gas SO_x yang terdiri dari SO₂ dan SO₃ yang keluar dari cerobong asap pabrik. Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah mengidentifikasi kandungan

sulfur pada tanaman untuk mendapatkan tanaman dengan kemampuan tinggi dalam menyerap gas SOx.

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa wilayah RTH yang ada dalam area pabrik. Dimana area RTH tersebut adalah Hutan Anoa, Debby-Viona dan Watu Labu. Ketiga area tersebut memiliki rata-rata penyerapan SOx oleh tanaman yang berbeda-beda. Jika dihitung rata-rata setiap lokasi daya reduksi SOx Watu Labu adalah sebesar (0,2600 %), Debby-Viona (0,1811 %) dan Anoa sebesar (0,1125 %). Tinggi rendahnya nilai tersebut sangat berkaitan dengan emisi gas SOx. Watu Labu merupakan lokasi yang sangat dekat dengan cerobong asap pabrik yang mengakibatkan tanaman terpapar gas dengan konsentrasi yang cukup tinggi, sementara Debby-Viona terletak lebih jauh. Tabel 2.1 menunjukkan jenis-jenis pohon dan jumlah kandungan sulfur yang ada dalam daun.

Tabel 2. 1 Kandungan Sulfur Daun pada Pohon di RTH Pabrik PT Inco

No	Nama Pohon dan lokasi	S (%)
Lokasi RTH : Debby		
1	Uru (<i>Ermerelia thyampacca</i>)	0,1613
2	Kemiri (<i>Aleurites moluccana</i>)	0,1552
3	Ficus (<i>Ficus sp.</i>)	0,1552
4	Agathis (<i>Agathis dammara</i>)	0,2391
5	Mangium (<i>Acasia mangium</i>)	0,2094
6	Bitti (<i>Vitex coffasus</i>)	0,1548
7	Kayu Tanduk (<i>Alsthorina spectabilis</i>)	0,2075
8	Jambu-jambu 1 (<i>Psidium Guajava</i>)	0,1796
9	Jambu-jambu 2 (<i>Psidium Guajava</i>)	0,1622
10	Kokopu (<i>Elaeocarpus sp.</i>)	0,1804
11	Kayu Asah (<i>Lithocarpus sp.</i>)	0,1838
12	Makarangan (<i>Macaranga triloba</i>)	0,2190
13	<i>Glochidion uttorate Blume</i>	0,2235
14	<i>Gluchidion mollucanum Blume</i>	0,0593

No	Nama Pohon dan lokasi	S (%)
15	<i>Premna sp.</i>	0,2258
Lokasi RTH : Watu Labu		
16	<i>Eucalyptus urograndis</i>	0,3003
17	Kemiri (<i>Aleurites moluccana</i>)	0,1858
18	Betao daun tipis (<i>C. Soulatri</i>)	0,1756
19	Kayu Hitam (<i>Diospyros celebica</i>)	0,2754
20	Kumea (<i>Manilkara celebica</i>)	0,2054
21	Agathis (<i>Agathis dammara</i>)	0,2363
22	Trema tomentosa	0,0515
23	Nangka (<i>Artocarpus integra</i>)	0,0987
24	Buri (<i>Weinmannia devogelii</i>)	0,2395
25	Mangium (<i>Acasia mangium</i>)	0,2848
26	Kapuk randu (<i>Zeiba petandra</i>)	0,2421
27	Nyatoh batu (<i>Palaqium sp.</i>)	0,1071
28	Trema love (<i>Trema tomentosa</i>)	0,2779
29	Spathodea (<i>S. Campanulata</i>)	0,2767
30	Saga (<i>Adenanthera pavonina</i>)	0,2979
31	Uru (<i>Ermerelia thyampacca</i>)	0,2984
32	Macaranga (<i>Macaranga triloba</i>)	0,3361
33	Nyatoh batu (<i>Palaqium sp.</i>)	0,2954
34	Jambu daun lebar (<i>P. guajava</i>)	0,3219
35	Mataha (<i>Calicarpa sp.</i>)	0,3928
36	Kolak (<i>Palaqium sp.</i>)	0,3295
37	Betao daun lebar (<i>C. Soulatri</i>)	0,3557
38	Ficus (<i>Ficus sp.</i>)	0,3444
39	Trema (<i>Trema tamentosa</i>)	0,2783
40	Pulai (<i>Alstonia scholaris</i>)	0,3023
41	Kayu Tanduk (<i>Alstthonia spectabilis</i>)	0,2401

No	Nama Pohon dan lokasi	S (%)
42	Ficus (<i>Ficus sp.</i>)	0,1758
Lokasi RTH : Anoa		
43	<i>Eucalyptus urograndis</i>	0,1142
44	Betao (<i>C.soulatri</i>)	0,0727
45	Ficus (<i>Ficus sp.</i>)	0,0693
46	Kayu Tanduk (<i>Alsthoronia spectabilis</i>)	0,0696
47	Bunu (<i>Colona scabra</i>)	0,2234
48	Dengen (<i>Dillenia serrata</i>)	0,4392
49	Mahoni (<i>Swietenia mahagoni</i>)	0,1998
50	Kemiri (<i>Aleurites moluccana</i>)	0,0933
51	Kayu Hitam (<i>Diospyros celebica</i>)	0,0856
52	Uru (<i>Ermerelia thyampacca</i>)	0,0524
53	Betao daun kecil (<i>C.soulatri</i>)	0,0372
54	Trema (<i>Trema tamentosa</i>)	0,0346
55	Trema love (<i>Trema tomentosa</i>)	0,0233
56	Kayu Afrika (<i>Maesopsis eminii</i>)	0,0792
57	Bitti (<i>Vitex coffasus</i>)	0,0311

Sumber : Endes dan Dahlan (2014)

2.5 Penggunaan Lahan Bukan RTH Sebagai Sumber Emisi SO₂

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sumber SO₂ bisa berasal dari aktivitas industri, bahan bakar fosil pada pembangkit listrik dan pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak Krzyzanowski (2012).

Hasil penelitian oleh Rokni *et al.*, (2016) menyatakan bahwa sumber SO₂ di beberapa negara seperti Australia, India, China, Kazakhstan dan Polandia bersumber dari pembakaran batubara yang digunakan sebagai pembangkit listrik.

Di India, timbulnya emisi SO₂ udara ambien berbeda antara daerah perindustrian dan daerah permukiman. Pada area industri kehadiran emisi SO₂ dapat dikaitkan dengan tingkat pemakaian

bahan bakar fosil dalam bentuk batu bara dan minyak mentah dalam industri tersebut. Pembakaran batu bara adalah sumber utama emisi SO₂ di daerah industri, selain itu penggunaan minyak mentah pada mesin diesel dan bensin untuk transportasi kendaraan di daerah industri juga sebagai penyumbang emisi SO₂ (Sinha dan Battacharya, 2016).

Pada area permukiman, tingkat emisi SO₂ udara ambien lebih rendah dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh kawasan industri (Mathew *et al.*, 2015). Walaupun jumlah emisi yang dihasilkan lebih kecil, timbulnya emisi di area permukiman dapat berasal dari pembakaran dengan kompor dan minyak tanah yang digunakan sebagai bahan bakar memasak (Sinha dan Battacharya, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Ren *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa di beberapa negara menghasilkan emisi akibat adanya pembakaran biomassa. Biomassa yang digunakan dapat menyebabkan pencemaran udara termasuk dihasilkannya sulfur dioksida dari proses pembakaran, walaupun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan pembakaran batubara. Jenis biomassa yang digunakan adalah kayu, herba dan limbah tanaman.

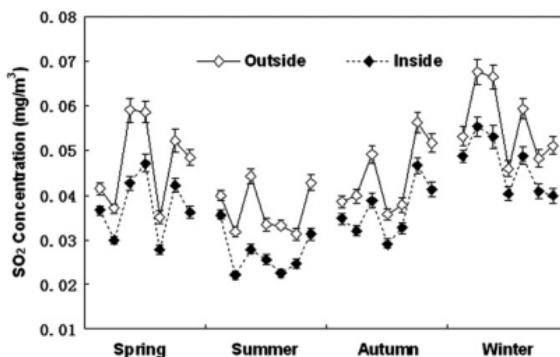
Penelitian di Tehran, Iran yang dilakukan oleh Amini *et al.*, (2014) menyebutkan bahwa Tehran yang merupakan ibu kota Iran memiliki permasalahan dalam kualitas udara, dimana polusi yang ada bersumber dari kendaraan bermotor (mobil, sepeda motor, truk, dan bus). Selain itu karena Iran adalah penampung gas alam yang terbesar, sehingga mayoritas dari penduduknya menggunakan gas alam untuk memasak dan pemanas.

2.6 Pengaruh Meteorologi terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien

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 (Chaturvedi *et al.*, 2013 ; Chavanagh *et al.*, 2009 ; Nowak *et al.*, 2006).

Kecepatan angin, suhu udara dan kelembaban udara adalah bagian dari parameter meteorologi yang dapat mempengaruhi konsentrasi gas pencemar di udara Istantinova *et al.*, (2012). Perhitungan dan analisis penelitian yang dilakukan menggunakan program *Microsoft Excel* dan program *SPSS* versi 14 untuk menganalisis ada atau tidaknya hubungan antara kecepatan angin, kelembaban dan suhu udara terhadap konsentrasi SO_2 .

Kondisi meteorologi berbeda untuk tiap musim. Hasil penelitian Shan *et al.*, (2011) di Shanghai, China menunjukkan bahwa ada perbedaan konsentrasi SO_2 di dalam dan di luar taman yang disajikan dalam Gambar 2.1. Pada semua musim, konsentrasi SO_2 di luar taman lebih tinggi dibandingkan konsentrasi SO_2 di dalam taman. Dengan demikian taman RTH mampu menyaring SO_2 yang ada di luar taman RTH.

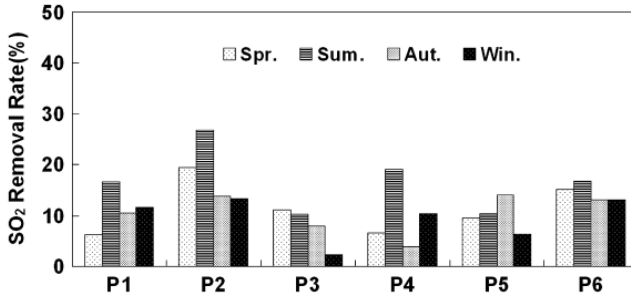


Gambar 2.1 Perbedaan Nilai Konsentrasi SO_2 di luar dan di dalam Taman Kota Shanghai, China

Sumber : Shan *et al.*, (2011)

Perbedaan konsentrasi SO_2 di luar dan di dalam taman pada tiap musim berbeda, menyebabkan persentase penurunan SO_2 berbeda, yang disajikan dalam Gambar 2.2. Persentase reduksi SO_2 pada 4 lokasi taman menunjukkan bahwa saat musim panas, paling tinggi dibandingkan musim lain. Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi SO_2 udara ambien dipengaruhi oleh kondisi

meteorologi yaitu temperatur (Chaturvedi *et al.*, 2013 dan Shan *et al.*, 2011).



Gambar 2.2 Nilai Removal SO₂ Berbagai Musim pada 6 Lokasi Taman Kota di Shanghai, China

Sumber : Shan *et al.*, (2011)

2.6.1 Konsentrasi SO₂ Dipengaruhi oleh Kecepatan Angin

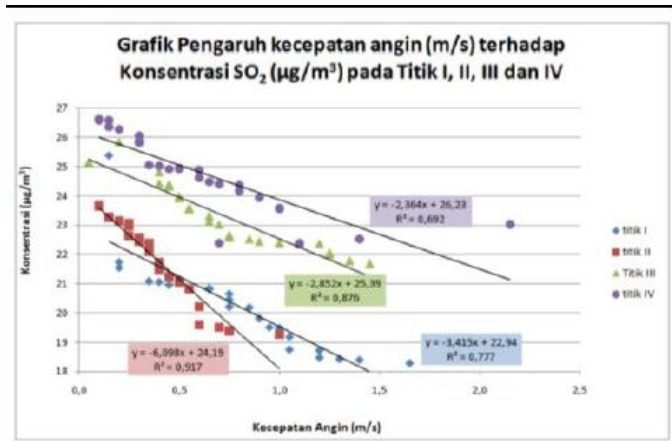
Penelitian yang dilakukan oleh Istantinova *et al.*, (2012) di Kota Semarang, yang merupakan penelitian mengenai pengaruh kecepatan angin, kelembaban udara dan temperatur udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien dengan empat (4) titik sampling daerah sekitar PT. Inti general Yaja Steel dengan radius ± 500 m dari sumber pencemar.

Polutan pencemar yang dilepaskan dari cerobong (*stack*) PT. Inti General Yaja Steel Semarang ke udara ini nantinya akan menimbulkan pencemaran dan menyebabkan adanya perubahan konsentrasi SO₂ dalam udara ambien pada daerah sekitarnya. Konsentrasi gas pencemar di udara selain dipengaruhi oleh jumlah sumber pencemar, parameter meteorologi juga mempengaruhi kadar gas pencemar di udara sehingga, kondisi lingkungan tidak dapat diabaikan.

Penelitian ini menyebutkan bahwa terjadi pengaruh pada konsentrasi SO₂ udara ambien saat kecepatan angin tinggi dan saat kecepatan angin rendah. Gambar 2.3 adalah grafik yang menunjukkan pengaruh kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂ pada salah satu titik sampling.

Hubungan antara kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂ pada keempat titik sampling adalah hubungan terbalik, yaitu semakin besar kecepatan angin maka konsentrasi SO₂ semakin kecil. Hal tersebut disebabkan oleh akibat adanya pergerakan udara maka terjadi suatu proses penyebaran gas SO₂ yang mengakibatkan penurunan konsentrasi SO₂ di sekitar area sampling.

Untuk tiga (3) titik sampling yang lain menunjukkan hal yang sama yaitu, konsentrasi SO₂ udara ambien rendah saat kecepatan angin tinggi dan konsentrasi SO₂ udara ambien tinggi saat kecepatan angin rendah.



Gambar 2.3 Pengaruh Kecepatan Angin (m/s) terhadap Konsentrasi SO₂ (µg/m³)

Sumber : Istantinova *et al.*, (2012)

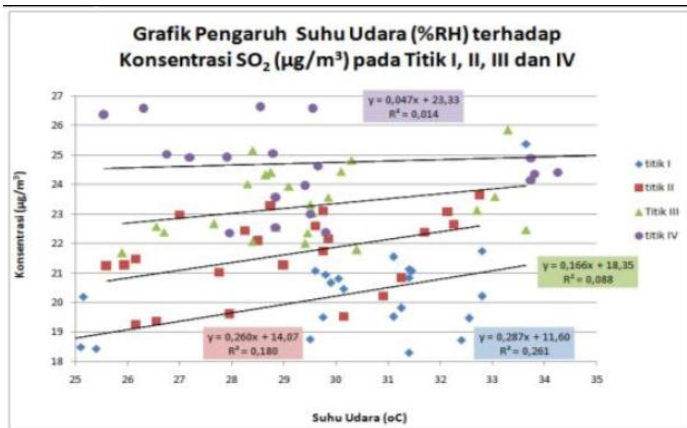
2.6.2 Konsentrasi SO₂ Dipengaruhi oleh Suhu Udara

Penelitian yang dilakukan oleh Istantinova *et al.*, (2012) di Kota Semarang, juga meneliti mengenai pengaruh suhu udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien dari empat (4) titik sampling.

Penelitian ini menyebutkan ada perbedaan pada konsentrasi SO₂ udara ambien saat suhu udara rendah dan saat suhu udara

tinggi. Gambar 2.4 adalah grafik yang menunjukkan pengaruh suhu udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien.

Hubungan antara suhu udara terhadap konsentrasi SO₂ adalah berbanding lurus yaitu semakin tinggi suhu udara maka konsentrasi SO₂ akan semakin tinggi. Hal ini juga terjadi karena adanya suhu yang tinggi akan mempercepat terjadinya penguraian (disosiasi) gas SO₂. Semakin tinggi suhu udara maka jumlah gas SO₂ yang terdisosiasi menjadi S dan O₂ akan semakin banyak (Istantinova *et al.*, 2012).



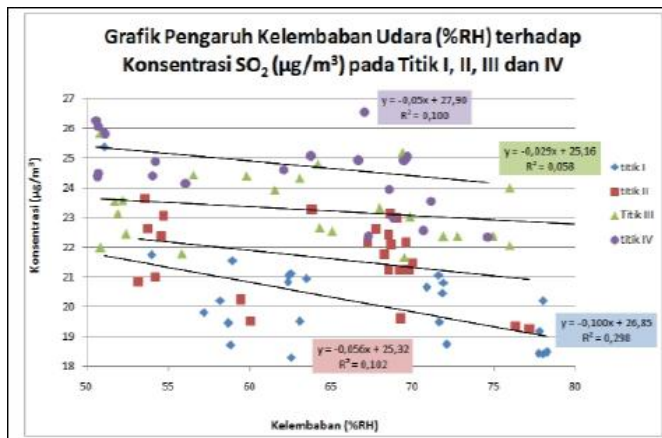
Gambar 2.4 Pengaruh Suhu Udara (°C) terhadap Konsentrasi SO₂ (µg/m³)

Sumber : Istantinova *et al.*, (2012)

2.6.3 Konsentrasi SO₂ Dipengaruhi oleh Kelembaban Udara

Penelitian yang dilakukan oleh Istantinova *et al.*, (2012) di Kota Semarang, juga meneliti mengenai pengaruh kelembaban udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien dari empat (4) titik sampling. Penelitian ini menyebutkan ada perbedaan pada konsentrasi SO₂ udara ambien saat kelembaban udara rendah dan saat kelembaban udara tinggi. Gambar 2.5 adalah grafik yang menunjukkan pengaruh kelembaban udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien.

Grafik menunjukkan bahwa ada pengaruh saat kelembaban udara tinggi terhadap konsentrasi SO_2 dan saat kelembaban rendah terhadap konsentrasi SO_2 . Pada saat kelembaban udara tinggi, menunjukkan bahwa konsentrasi SO_2 rendah yang disebabkan karena penguapan uap air yang ditransfer ke udara oleh naiknya suhu udara, sehingga konsentrasi SO_2 mengalami penurunan (Istantinova *et al.*, 2012).



Gambar 2.5 Pengaruh Kelembaban Udara (%RH) terhadap Konsentrasi SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

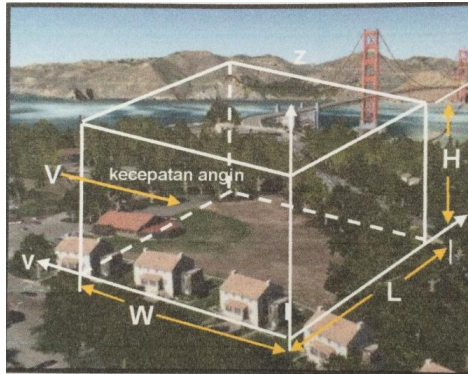
Sumber : Istantinova *et al.*, (2012)

2.7 Nilai Kumulatif Konsentrasi SO_2 Selama 24 jam (K_{SO_2}) Sebagai Indikator Reduksi SO_2 Udara Ambien

Nilai reduksi SO_2 udara ambien di suatu area dapat diketahui dengan menggunakan teori *Box Model* atau penyerupaan bentuk kotak (Nevers, 2000). Ruang area yang dianalisis menyerupai bentuk kotak dengan ilustrasi seperti pada Gambar 2.6.

Unit analisis (*box*) setiap hari berubah, karena bergantung pada arah dan kecepatan angin pada hari tersebut (vektor angin). Angin adalah besaran vektor yang memiliki nilai dan arah. Rata-rata angin adalah jumlah vektor angin dibagi dengan jumlah data angin (Muzaynah, 2016).

Dari hasil perhitungan kecepatan dan arah angin akan didapatkan panjang sisi unit analisis untuk masing-masing data. Observasi unit analisis dilakukan dengan deliniasi lahan RTH dan non-RTH.



Gambar 2.6 Box Model

Sumber : Muzayanah (2016)

Pada konsep *box model* yang dijelaskan oleh Muzayanah (2016), berlaku hukum kekekalan massa. Massa di dalam *box* tetap dan tidak terpengaruh oleh aktivitas dalam *box*. Udara di dalam *box* diasumsikan teraduk sempurna, sehingga konsentrasi dalam *box* merata. Kecepatan angin diasumsikan rata tegak lurus pada dinding *box*. Dengan hukum kekekalan massa, maka massa dalam *box* (Δm) :

$$\Delta m = m_{in} - m_{out} + m_{emisi} - m_{reduksi} \dots \dots \dots (2.1)$$

Massa polutan udara per volume udara ambient $\frac{m}{v}$ atau konsentrasi polutan (C), dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta C = C_{in} - C_{out} + C_{emisi} - C_{reduksi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- Δm = ΔC = perubahan massa atau konsentrasi di dalam box
- m_{in} = C_{in} = massa atau konsentrasi yang masuk box
- m_{out} = C_{out} = massa atau konsentrasi yang keluar box
- m_{emisi} = C_{emisi} = emisi massa atau konsentrasi di dalam box
- $m_{reduksi}$ = $C_{reduksi}$ = reduksi massa atau konsentrasi di dalam box

Bila konsentrasi awal, saat $t=0$, di dalam box = C_0 , maka konsentrasi saat $t=t$ di dalam box = C_t adalah :

$$C_t = C_0 \pm \Delta C \dots\dots\dots (2.3)$$

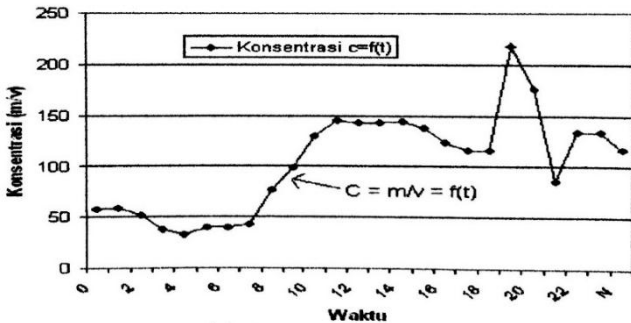
Dimana :

C_t = konsentrasi SO_2 saat t

C_0 = konsentrasi SO_2 saat $t = 0$

ΔC = perubahan konsentrasi SO_2 dalam selang waktu Δt

Konsentrasi SO_2 di satu lokasi mengalami perubahan tiap saat (t). Contoh grafik perubahan SO_2 disajikan pada Gambar 2.7.



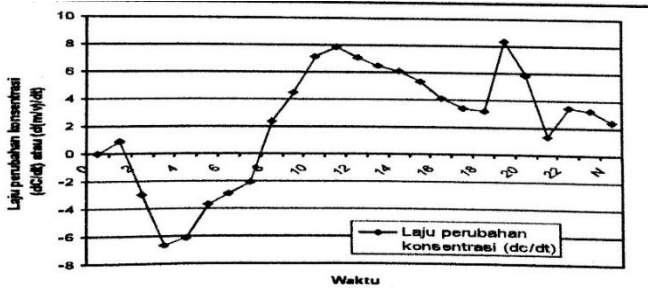
Gambar 2.7 Konsentrasi SO_2 selama n periode atau konsentrasi SO_2 sebagai fungsi waktu $C_t = \left[\frac{mt}{v}\right] = f(t)$

Sumber : Muzayanah (2016)

Nilai laju perubahan konsentrasi udara ambien selama satu rentang waktu atau K_{SO_2} adalah:

$$K_{SO_2} = \frac{\Delta C}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.4)$$

ΔC adalah perubahan konsentrasi SO_2 selama satu rentang waktu (Δt). Nilai laju perubahan konsentrasi (K_{SO_2}) didapatkan dari deferensi kurva konsentrasi SO_2 fungsi waktu. Nilai laju perubahan konsentrasi (K_{SO_2}) bisa dinyatakan dengan $\int \frac{\Delta C}{\Delta t}$ dan disajikan dalam Gambar 2.8.

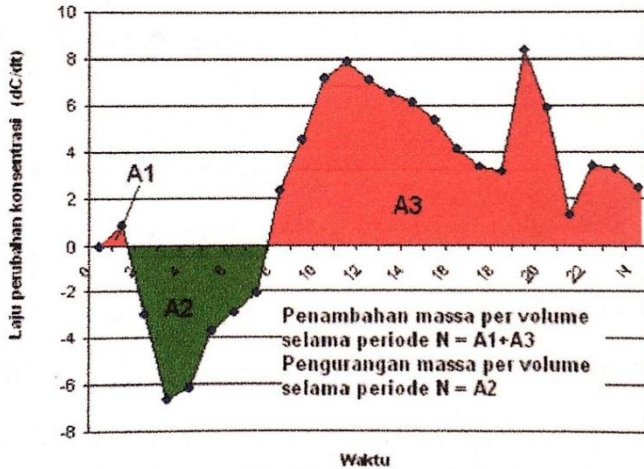


Gambar 2.8 Kurva laju perubahan konsentrasi SO₂ selama n periode didapatkan dari deferensi kurva konsentrasi SO₂ fungsi waktu atau $\frac{\Delta C}{\Delta t}$.

Sumber : Muzayanah (2016)

Kumulatif konsentrasi SO₂ udara ambien selama satu periode didapatkan dari integrasi kurva laju perubahan konsentrasi selama satu periode. Kumulatif konsentrasi SO₂ setara dengan luasan antara kurva $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ dengan garis $[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0]$. Menurut Santoso dan Mangkudihardjo (2012), luasan antara kurva $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ dengan garis $[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0]$ dapat digunakan sebagai indikator reduksi suatu senyawa di udara ambien.

Gambar 2.9 menunjukkan luasan diatas kurva $[\frac{\Delta C}{\Delta t}]$ dengan garis $[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0]$ atau (A1+A3) bertanda positif (+), artinya konsentrasi SO₂ udara ambien bertambah. Luasan dibawah kurva $[\frac{\Delta C}{\Delta t}]$ dengan garis $[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0]$ atau (A2) bertanda negatif (-), artinya konsentrasi SO₂ udara ambien berkurang. Nilai kumulatif konsentrasi SO₂ udara ambien selama periode n = (K_{PM10}) adalah jumlah penambahan dan pengurangan konsentrasi SO₂ udara ambien selama periode tersebut atau nilai K_{PM10} = A1+A3-A2.



Gambar 2.9 Luasan antara kurva laju perubahan konsentrasi $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t}\right]$ dan garis $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0\right]$ adalah kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien selama waktu n.

Sumber : Muzayanah (2016)

Luasan kurva $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t}\right]$ dengan garis $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0\right]$ dapat dihitung dengan integrasi numerik. Satu metode integrasi numerik adalah metode trapesium banyak pias Muzayanah (2016). Gambar 2.10 menyajikan luasan (I) dengan lebar pias sama. Luasan antara kurva laju perubahan konsentrasi $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t}\right]$ dan garis $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0\right]$ atau K_{SO_2} dihitung dengan rumus berikut :

$$K_{\text{SO}_2} = \Delta t \frac{f(t_0) + f(t_1)}{2} + \Delta t \frac{f(t_1) + f(t_2)}{2} + \dots + \Delta t \frac{f(t_{n-1}) + f(t_n)}{2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$K_{\text{SO}_2} = \frac{\Delta t}{2} [f(t_0) + f(t_n) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)] \dots\dots\dots (2.6)$$

Nilai kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien selama satu periode (K_{SO_2}) dapat digunakan sebagai indikator proses reduksi SO_2 . Jika nilai K_{SO_2} bertanda negatif (-), artinya reduksi SO_2 lebih besar dari emisi SO_2 . Jika nilai K_{SO_2} bertanda (+), artinya reduksi

SO₂ lebih kecil dari emisi SO₂. Nilai SO₂ sama dengan nol (0) artinya proses reduksi maupun emisi SO₂ udara ambien berjalan seimbang. Dengan menghitung nilai K_{SO2} sebagai indikator besarnya reduksi SO₂ udara ambien oleh RTH, maka dapat diketahui ketercukupan RTH pada area tersebut.

2.8 Uji Korelasi dan Signifikansi

Berikut adalah penjelasan yang dijelaskan oleh Rencher (2002) mengenai korelasi dan signifikansi.

Analisis korelasi bertujuan untuk mengukur kekuatan asosiasi (hubungan) antar dua variabel. Korelasi tidak menunjukkan hubungan fungsional atau dengan kata lain, analisis korelasi tidak membedakan antara variabel dependen dengan variabel independen.

Korelasi menyatakan derajat hubungan antara dua variabel tanpa memperhatikan mana yang menjadi peubah. Karena itu hubungan korelasi belum dapat diartikan sebagai hubungan sebab-akibat.

Nilai korelasi berkisar antara +1 s/d -1. Semakin mendekati +1 atau mendekati -1 maka nilai korelasi adalah korelasi sempurna kuat. Korelasi bernilai positif menyatakan hubungan semakin besar nilai pada variabel X, diikuti pula perubahan dengan semakin besar nilai pada variabel Y. Korelasi bernilai negatif menyatakan hubungan semakin besar nilai pada variabel X, diikuti pula perubahan dengan semakin kecil nilai pada variabel Y.

Nilai korelasi 0	: Tidak ada korelasi antar dua variabel
Nilai korelasi >0 - 0,25	: Korelasi lemah
Nilai korelasi >0,25 – 0,5	: Korelasi cukup
Nilai korelasi >0,5 – 0,75	: Korelasi kuat
Nilai korelasi 0,75- 0,99	: korelasi sangat kuat
Nilai korelasi 1	: korelasi sempurna

Erat berkaitan dengan masalah eror dalam penolakan hipotesis nihil, pemahaman mengenai taraf signifikansi sangat penting dalam penggunaan metode statistika guna menguji hipotesis penelitian. Kesimpulan penelitian yang disandarkan pada keputusan statistik, tidak dapat ditopang oleh taraf kepercayaan

mutlak seratus persen. Karena itulah peneliti harus memberi sedikit peluang untuk salah dalam menolak hipotesis.

Signifikansi adalah tingkat keyakinan terhadap suatu hipotesis, apakah hipotesis tersebut akan diterima atau ditolak. Jika didapatkan hasil pengujian sebuah hipotesis signifikan, ini berarti hipotesis tersebut meyakinkan dan berarti sehingga dapat diterima, berlaku, dan digeneralisasikan pada populasi.

Tingkat signifikansi dalam ilmu statistik dinyatakan dalam suatu angka dalam persen yang menunjukkan atau resiko kesalahan terhadap hasil pengujian yang dilakukan. Tingkat signifikansi yang biasa digunakan oleh peneliti adalah 5% dan 1%.

Tingkat signifikansi disimbolkan dengan lambang α atau dalam program komputer dengan Sig atau p-value. Semakin kecil tingkat signifikansi maka semakin kecil pula peluang kesalahan dari hasil pengujian yang dilakukan sehingga semakin tinggi tingkat keyakinan terhadap hasil pengujian.

2.9 Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi linier sederhana menurut Rencher (2002) adalah hubungan antar variabel yang dapat berupa hubungan linier ataupun hubungan tidak linier. Misalnya, berat badan laki-laki dewasa sampai pada taraf tertentu bergantung pada tinggi badan, keliling lingkaran bergantung pada diameternya, dan tekanan gas bergantung pada suhu dan volumenya. Hubungan-hubungan itu bila dinyatakan dalam bentuk matematis akan memberikan persamaan-persamaan tertentu. Pengertian regresi secara umum adalah sebuah alat statistik yang memberikan penjelasan tentang pola hubungan (model) antara dua variabel atau lebih.

Analisis regresi dikenal 2 jenis variabel yaitu variabel respon dan variabel prediktor. Untuk dua variabel, hubungan liniernya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$Y = a + bx \text{.....(7)}$$

Keterangan :

Y = variabel terikat

X = variabel bebas

a =konstanta

b =koefisien variabel bebas

1. Variabel prediktor disebut juga variabel dependen (variabel terikat) yaitu variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan variabel X.
2. Variabel respon disebut juga dengan variabel independen (variabel bebas) yaitu variabel yang bebas (tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya) dan dinotasikan dengan Y.

Tujuan utama regresi adalah untuk membuat perkiraan nilai suatu variabel (*variabel dependen*) jika nilai variabel yang lain yang berhubungan dengannya (*variabel lainnya*) sudah ditentukan.

Hubungan antara dua variabel pada persamaan linier jika digambarkan secara grafis (*scatter diagram*), semua nilai Y dan X akan berada pada suatu garis lurus. Dalam ilmu ekonomi, garis itu disebut *garis regresi*.

Karena antara Y dan X memiliki hubungan, maka nilai X dapat digunakan untuk menduga atau meramal nilai Y. Dalam hal ini, X disebut variabel terikat, yaitu variabel yang nilai-nilainya bergantung pada variabel lain.

Hubungan antar variabel yang akan dipelajari disini hanyalah hubungan linier sederhana, yaitu hubungan yang hanya melibatkan dua variabel (X dan Y) dan berpangkat satu.

Menurut Kurniawan (2008) kebutuhan data dalam pembentukan model persamaan linier sederhana adalah minimal sebanyak 5 dan semakin banyak sampel yang digunakan akan memberikan hasil yang semakin baik hanya saja bergantung pada data yang dimiliki.

Model regresi linier sederhana dikatakan layak dengan syarat :

1. Nilai signifiansi $< 0,05$
2. Koefisien regresi harus signifikan. Pengujian dilakukan dengan Uji T. Koefisien regresi signifikan jika $T \text{ hitung} > T \text{ table}$ (nilai kritis).
3. Keselerasan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai r^2 semakin besar nilai tersebut maka

model semakin baik. Jika nilai mendekati 1 maka model regresi semakin baik. Nilai r^2 mempunyai karakteristik diantaranya: 1) selalu positif, 2) Nilai r^2 maksimal sebesar 1. Jika Nilai r^2 sebesar 1 akan mempunyai arti kesesuaian yang sempurna. Maksudnya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan oleh model regresi. Sebaliknya jika r^2 sama dengan 0, maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

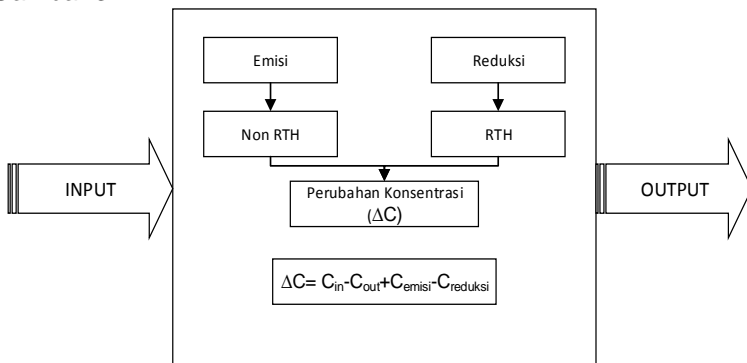
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini menganalisis mengenai reduksi SO₂ udara ambien oleh ruang terbuka hijau (RTH) dengan menggunakan parameter konsentrasi sebagai hasil dari reduksi SO₂ oleh RTH. Area yang digunakan pada penelitian ini adalah area sekitar SPKU Kebonsari dimana area tersebut mewakili daerah permukiman dan daerah transportasi karena berada dekat jalan Tol Surabaya-Gempol. Kerangka penelitian yang digunakan adalah menentukan rumusan masalah, merumuskan ide penelitian, melakukan studi literatur, melakukan pengumpulan data (data spasial dan data non spasial), menganalisis data (penentuan unit pengukuran dan perhitungan kumulatif konsentrasi), membuat pembahasan dan menarik kesimpulan. Pengolahan data bertujuan untuk menentukan konsentrasi SO₂ udara ambien yang mampu direduksi oleh RTH selama 24 jam dan pengaruh proporsi RTH dalam mereduksi SO₂ udara ambien.

3.2 Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual dari penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka Konseptual Penelitian

Dari Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa dalam satu area dimisalkan adalah sebuah *box*. Sumber SO₂ yang masuk ke *box*

berasal dari aktivitas transportasi dan non-transportasi (aktivitas rumah tangga/permukiman). Konsentrasi SO_2 udara ambien pada *box* dipengaruhi oleh emisi dan reduksi yang terjadi dalam *box*. Emisi SO_2 yang berasal dari keberadaan lahan non-RTH dan reduksi SO_2 yang terjadi oleh adanya lahan RTH, akan menyebabkan perubahan konsentrasi dalam *box*.

Konsentrasi SO_2 udara ambien dipengaruhi oleh meteorologi lokal dan aktivitas sumber emisi SO_2 . Meteorologi lokal dipengaruhi oleh arah angin, kecepatan angin, kelembaban dan temperatur udara. Konsentrasi SO_2 yang diemisikan tergantung dari aktivitas sumber emisi. Aktivitas sumber emisi dipengaruhi oleh penggunaan lahan area tersebut.

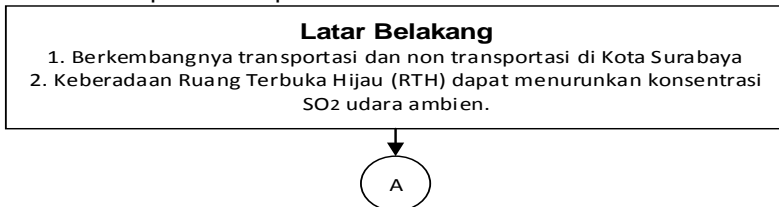
RTH dapat menurunkan konsentrasi SO_2 udara ambien. Proporsi tutupan kanopi pohon yang semakin besar dapat membuat konsentrasi SO_2 udara ambien semakin kecil.

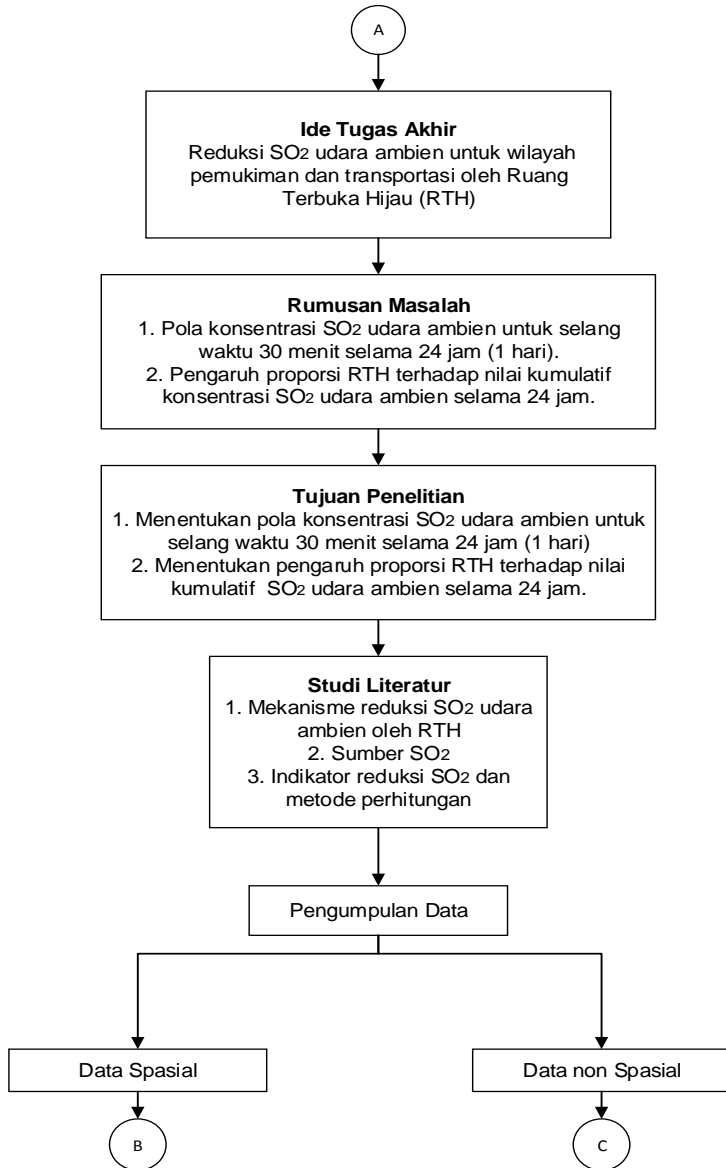
Nilai konsentrasi SO_2 udara ambien adalah untuk kondisi sesaat yang akan berubah setiap saat, maka untuk menetapkan nilai reduksi SO_2 harus melibatkan variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah nilai kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien selama satu periode. Variabel terikat adalah proporsi RTH. Kondisi meteorologi (kecepatan angin, arah angin, temperatur dan kelembaban) sebagai variabel identitas.

Satu periode ditetapkan selama 24 jam, karena siklus meteorologi tersingkat dan siklus aktivitas manusia terjadi selama 24 jam. Nilai kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien (K_{SO_2}) selama 24 jam, dapat digunakan sebagai indikator reduksi SO_2 di area tersebut.

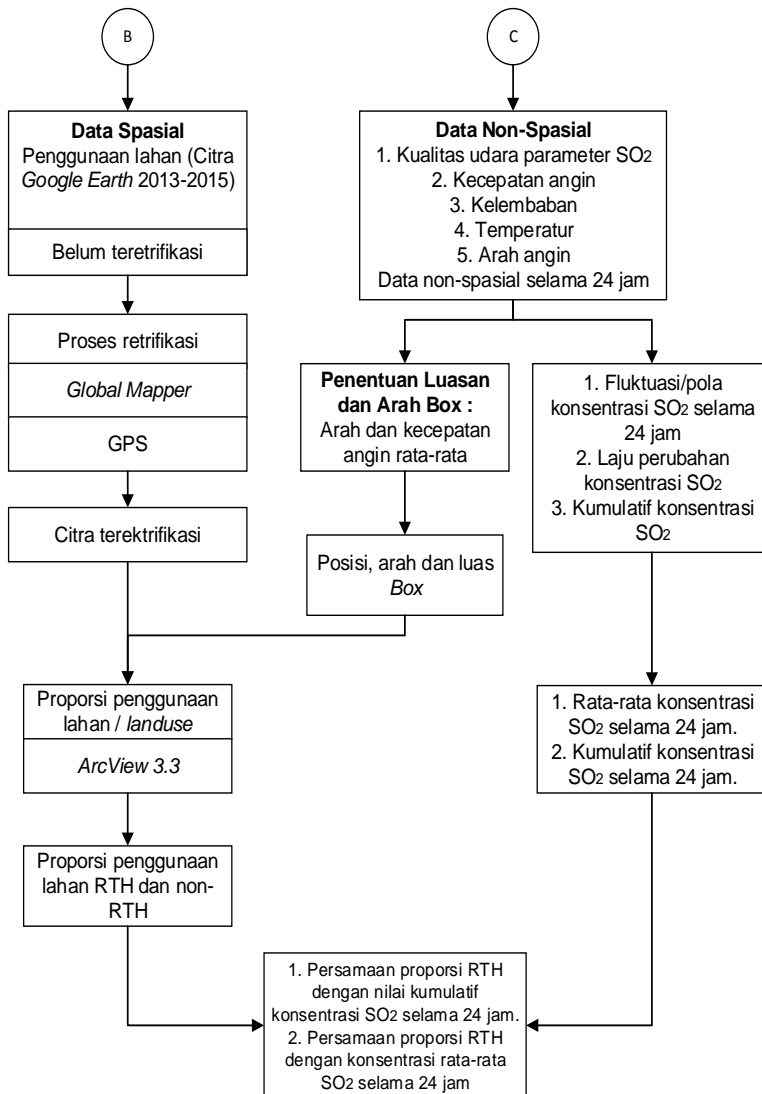
3.3 Kerangka Penelitian

Penyusunan tahapan kegiatan penelitian yang akan dilakukan dapat dibuat pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Kerangka Penelitian



Gambar 3.2 Kerangka Penelitian (Lanjutan)

3.3 Deskripsi Kerangka Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari kerangka penelitian diatas. Metode penelitian ini akan menjadi pedoman pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

1. Ide Penelitian

Meningkatnya polusi udara satu diantaranya adalah sulfur dioksida yang diakibatkan adanya perkembangan aktivitas transportasi dan non-transportasi (industri dan pembakaran rumah tangga) yang dapat berdampak pada kualitas udara perkotaan dan juga kesehatan manusia.

Hasil beberapa penelitian bidang keilmuan menunjukkan bahwa SO₂ mampu direduksi oleh tanaman. Tanaman yang sengaja atau tidak sengaja ditanam di perkotaan yang identik dengan RTH.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pola konsentrasi SO₂ udara ambien untuk selang waktu 30 menit selama 24 jam (1 hari). Tujuan ke-2 adalah menentukan pengaruh proporsi RTH terhadap nilai reduksi SO₂ udara ambien selama 24 jam.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang menunjang penelitian. Studi literatur ini memuat informasi yang dapat mendukung perlakuan, analisis dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Studi literatur dilakukan dengan memanfaatkan jurnal ilmiah, buku teks, disertasi, laporan tugas akhir dan sumber lain yang valid dan legal. Hal-hal yang akan dipelajari dalam studi literatur antara lain:

1. Sumber SO₂
2. Tanaman sebagai reduktor SO₂
3. Mekanisme reduksi SO₂ udara ambien oleh RTH
4. Indikator reduksi SO₂ dan metode perhitungan

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data spasial adalah data keruangan atau data yang menggambarkan wilayah diatas permukaan bumi dan ditampilkan dalam bentuk peta ataupun gambar. Citra *google earth* adalah data spasial yang digunakan dalam penelitian ini. Data non-spasial adalah data yang disajikan dalam bentuk tabel sebagai informasi objek dari data spasial,

dimana yang termasuk dalam data non-spasial adalah kualitas udara dengan parameter SO₂, kecepatan angin, arah angin, temperatur dan kelembaban udara dari tahun 2013-2015 hasil rekaman SPKU Kebonsari.

4. Pengolahan Data Spasial

Jumlah data spasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 10 citra. Penggunaan citra tidak terpengaruh oleh range pengambilan citra pada *history Google Earth*. Satu citra dapat digunakan untuk satu minggu data kualitas udara, dengan alasan tidak terjadi perubahan lahan yang signifikan. Pembentukan model persamaan dengan penentuan proporsi RTH didasarkan pada kecepatan dan arah angin yang akan menghasilkan luas dan arah *box* yang berbeda. Luas dan arah *box* yang berbeda akan menghasilkan delineasi proporsi RTH yang berbeda walaupun menggunakan satu citra untuk data dalam satu minggu. Sehingga dapat diketahui pada area tersebut dengan kondisi kualitas udara yang digunakan apakah proporsi RTH mampu digunakan untuk mereduksi konsentrasi SO₂.

Data spasial (citra *google earth*) diolah untuk mendapatkan citra yang teretifikasi. Retifikasi adalah sebuah proses pengolahan data dari data yang tidak memiliki koordinat menjadi data yang memiliki koordinat. Data spasial dibutuhkan untuk analisis perbandingan kemampuan reduksi SO₂ berdasarkan proporsi sampel RTH yang diteliti dan untuk menentukan pengaruh proporsi RTH terhadap nilai reduksi SO₂. Citra diretifikasi dengan menggunakan *Global Mapper 8* dan alat GPS untuk mengetahui koordinat titik pada area yang diteliti. Kemudian dari proses retifikasi akan menghasilkan gambar citra teretifikasi (gambar citra berkoordinat). Proporsi penggunaan lahan RTH dan non RTH dapat dihitung setelah didapatkan posisi, arah dan luasan *box* dari perhitungan data non spasial berupa arah dan kecepatan angin yang kemudian diplotkan pada citra teretifikasi. Perhitungan proporsi penggunaan lahan menggunakan bantuan *Arc.View 3.3* sehingga didapatkan proporsi lahan RTH dan non RTH di dalam *box*.

5. Pengolahan Data Non Spasial

Data non spasial terdiri dari data kualitas udara dengan

parameter SO_2 , arah dan kecepatan angin, temperatur serta kelembaban. Arah dan kecepatan angin digunakan untuk menentukan luas dan arah *box* yang akan dimasukkan pada citra teretifikasi sehingga menghasilkan proporsi penggunaan lahan.

Data kualitas udara dengan parameter SO_2 digunakan untuk menentukan :

- a. Fluktuasi konsentrasi SO_2 selama 24 jam. Fluktuasi konsentrasi ini dibuat dalam grafik konsentrasi SO_2 fungsi waktu (t) selama 24 jam.
- b. Laju Perubahan Konsentrasi

Dari kurva konsentrasi dihitung laju perubahan konsentrasi SO_2 (K_{SO_2}) selama 24 jam, yang didapatkan dari deferensi kurva konsentrasi SO_2 fungsi waktu yang bisa dinyatakan dengan $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t}\right]$. Dimana ΔC adalah perubahan konsentrasi SO_2 selama satu rentang waktu (Δt).

- c. Kumulatif konsentrasi

Kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien selama satu periode (24 jam) sehingga didapatkan integrasi kurva laju perubahan. Kumulatif konsentrasi SO_2 setara dengan luasan antara kurva $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ dengan garis $\left[\frac{\Delta C}{\Delta t}=0\right]$.

Luasan antara kurva $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ dengan garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ bisa dipakai sebagai indikator reduksi suatu senyawa di udara ambien. Dengan menghitung nilai K_{SO_2} sebagai indikator besarnya reduksi SO_2 udara ambien oleh RTH, maka bisa diketahui kecukupan RTH dalam mereduksi SO_2 udara ambien.

Dari perhitungan diatas, akan didapatkan rata-rata konsentrasi SO_2 udara ambien setiap 24 jam dan kumulatif konsentrasi SO_2 udara ambien dalam 24 jam.

6. Pembentukan Persamaan

Analisis korelasi konsentrasi rata-rata SO_2 dan nilai reduksi SO_2 dengan proporsi ruang terbuka hijau (RTH), yang didapatkan dari grafik hubungan antara proporsi ruang terbuka hijau (RTH) pada (sumbu X) dengan kumulatif konsentrasi SO_2 (K_{SO_2}) (sumbu Y) dan grafik hubungan antara

proporsi ruang terbuka hijau (sumbu X) dengan rata-rata konsentrasi SO₂ udara ambien (sumbu Y) selama 24 jam. Dari grafik hubungan tersebut dapat dianalisis nilai korelasi (r) dan signifikansi regresi sehingga dapat ditentukan bagaimana hubungan antar dua variabel, bagaimana pengaruh variabel terikat dengan variabel bebas dan memprediksi nilai variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas.

3.4 Tahapan Penelitian

Dari uraian kerangka penelitian di atas, dapat dibuat tahapan penelitian sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

Tahap ini terdiri dari 2 (dua) kegiatan, yaitu :

- Studi literatur untuk menentukan indikator proses reduksi SO₂ udara ambien dan metode perhitungan indikator tersebut.
- Menyiapkan data spasial berupa citra Google Earth di area sekitar SPKU Kebonsari dari tahun 2013-2015 dan non-spasial yaitu data konsentrasi SO₂, arah dan kecepatan angin, temperatur udara dan kelembaban udara pada kondisi yang terwakili citra.

2. Tahap Membangun Model Persamaan

Pada tahap ini dilakukan analisis hubungan antara indikator dengan variabel teramati (KSO₂). Tahap ini terdiri dari enam kegiatan yaitu :

- Menentukan area terwakili titik pengukuran (unit pengukuran) dengan menggunakan data arah dan kecepatan angin selama 24 jam.
- Delineasi lahan berupa ruang terbuka hijau (RTH), bangunan dan jalan.
- Menentukan proporsi luasan masing-masing delineasi,.
- Menghitung konsentrasi SO₂ rata-rata.
- Menghitung nilai KSO₂ setiap unit pengukuran.
- Analisis hubungan signifikansi (pembentukan persamaan) antara indikator (bangunan, jalan dan RTH) dengan KSO₂.

3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil penelitian yang menjawab perumusan masalah penelitian. Saran yang diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) Kebonsari

Stasiun pemantau kualitas udara Kebonsari terletak di halaman Kantor Kelurahan Kebonsari, Kota Surabaya. Stasiun pemantau kualitas udara ini menggantikan stasiun pemantau kualitas udara Gayungan yang tidak beroperasi sejak tahun 2012. Area di sekitar stasiun pemantau kualitas udara Kebonsari disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Area Sekitar Stasiun Pemantau Kualitas Udara Kebonsari

Sumber : *Google Earth*

Stasiun pemantau kualitas udara Kebonsari mulai beroperasi pada September tahun 2013. Stasiun pemantau kualitas udara ini mewakili area permukiman dan area transportasi karena berada dekat dengan Tol Surabaya-Gempol. SPKU Kebonsari terletak pada koordinat $7^{\circ}19'41.42''S$ dan $112^{\circ}42'48.82''E$. Foto SPKU Kebonsari disajikan dalam Gambar 4.2.

Stasiun pemantau kualitas udara berfungsi untuk mengetahui tingkat pencemaran udara, mengamati kecenderungan tingkat pencemaran udara, serta memberi informasi kepada masyarakat. Stasiun pemantau kualitas udara terdiri dari kontainer yang dilengkapi AC (*Air Conditioner*) dengan alat pengukur kualitas udara, sistem untuk data meteorologi,

sensor untuk pemantauan suhu dan kelembaban udara, sistem kontrol, unit sampel, penyediaan gas acuan, peralatan bantuan untuk aliran listrik dan transfer data. Stasiun pemantau kualitas udara ini bekerja secara kontinyu, otomatis dan terkontrol oleh komputer.



Gambar 4.2 Stasiun Pemantau Kualitas Udara Kebonsari

Sistem pengontrolan stasiun pemantau kualitas udara dapat menyimpan parameter untuk 21 hari, kemudian data yang paling lama akan diganti dengan yang baru. Dalam masa 21 hari tersebut, data ditransfer secara online atau data dibawa ke laboratorium pemantau. Di laboratorium pemantau, data dan fungsi sistem diperiksa dan dinyatakan sebagai data yang valid. Jika terjadi kesalahan fungsi dari sistem atau terdapat data yang tidak jelas, maka situasi akan diklarifikasi dan data dinyatakan sebagai data yang valid atau tidak valid (invalid) dan jika perlu diikuti dengan pemeliharaan sistem.

Parameter yang diukur dalam stasiun pemantau kualitas udara ambien di Kota Surabaya ada 16 (enam belas) parameter, yang terdiri dari 5 (lima) parameter kunci dan 11 (sebelas) parameter pendukung. Parameter kunci adalah PM₁₀, SO₂, NO₂, CO dan O₃. Parameter pendukung dan meteorologi yang diukur meliputi NO, NO_x, kecepatan angin, arah angin, kelembaban udara ambien, kelembaban udara kontainer, suhu udara ambien, suhu udara kontainer dan global radiasi.

Parameter SO₂ pada stasiun pemantau kualitas udara diukur dengan menggunakan alat pengukur yang bekerja secara terus menerus yaitu (APSA-360 dari Horiba) dengan menggunakan metode *ultraviolet fluorescence*. *Fluorescence* adalah terpancarnya sinar oleh suatu zat yang telah menyerap sinar atau radiasi elektro magnet lain. Pada saat sinar ultraviolet (220 nm) menghilangkan radiasi sampel yang mengandung SO₂, SO₂ akan menghasilkan sinar dengan panjang gelombang yang lebih panjang (320 nm) dibandingkan dengan sinar radiasi yang sudah dihilangkan. Sinar pertama yang sudah dihilangkan disebut sebagai sinar *excited light* dan yang terakhir disebut *fluorescence*. Konsentrasi sampel yang diukur adalah intensitas *fluorescence* tersebut. Tabel 4. 1 menyajikan periode pengukuran 5 (lima) parameter utama.

Tabel 4.1 Periode Pengukuran Parameter

Parameter	Waktu Pengukuran
Partikulat (PM10)	24 jam (periode pengukuran rata-rata)
Sulfur Dioksida (SO ₂)	24 jam (periode pengukuran rata-rata)
Karbon Monoksida (CO)	8 jam (periode pengukuran rata-rata)
Ozon (O ₃)	1 jam (periode pengukuran rata-rata)
Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam (periode pengukuran rata-rata)

4.2 Pengumpulan dan Pemilihan Data

Tahap awal sebelum pengumpulan data SO₂ dan data meteorologi adalah inventarisasi citra di area sekitar SPKU Kebonsari dari *Google Earth*, ini termasuk dalam pengumpulan data spasial. Citra yang diinventarisasi adalah citra saat stasiun pemantau kualitas udara beroperasi yaitu dari tahun 2013 sampai 2015. Dari hasil inventarisasi citra, didapatkan 10 citra.

Setelah didapatkan data pemotretan citra, langkah selanjutnya adalah inventarisasi data konsentrasi SO₂ dan data

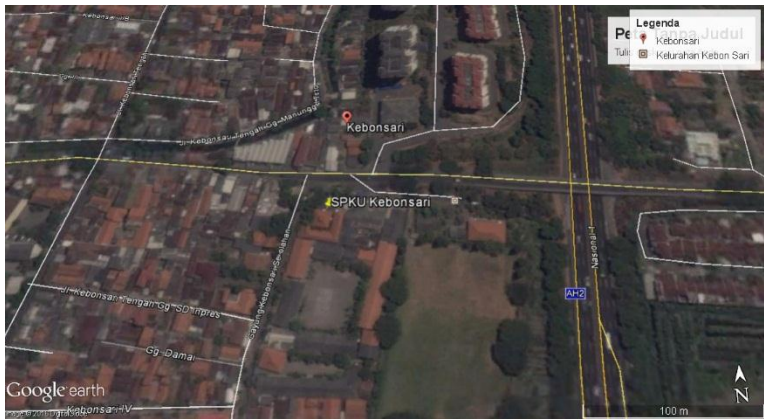
meteorologi. Kemudian dilakukan penghitungan luas unit pengukuran dan deliniasi data citra berdasarkan peruntukan lahan dan ruang terbuka hijau (RTH).

Jumlah data harian kualitas udara parameter SO₂ dan data harian meteorologi yang digunakan adalah sebanyak 70 hari data. 70 data ini diambil dari 6 hari sebelum tanggal citra. Namun dari 10 citra ada 1 citra yang menggunakan data dari tanggal citra sampai dengan 6 hari setelah tanggal citra, yang disebabkan karena tidak terbacanya data meteorologi maupun data konsentrasi SO₂. Tabel 4.2 menunjukkan ringkasan data meteorologi sesuai dengan tanggal citra yang didapatkan dari rata-rata data meteorologi selama 7 hari sampai dengan tanggal citra.

Tabel 4.2 Data Meteorologi

Tanggal Data	Kecepatan Angin (m/s)			Kelembaban (%)			Temperatur °C		
	Min	Rata-rata	Max	Min	Rata-rata	Max	Min	Rata-rata	Max
11-Sep-13	0,03	1,59	3,59	23,7	59,44	87,18	21,67	27,92	33,56
17-Sep-13	0,077	1,80	3,78	25,93	59,29	86,60	22,15	28,33	34,70
30-Sep-13	0,02	1,62	3,69	17,91	58,21	84,01	22,26	28,86	35,89
14-Nov-13	0,06	1,12	2,89	25,23	58,80	83,33	25,50	30,47	37,3
24-Dec-13	0,08	1,63	4,96	38,16	71,90	94,76	23,15	28,52	35,99
07-Agu-14	0,06	2,24	4,79	39,70	67,54	88,73	23,98	28,74	33,00
06-Jan-15	0,01	1,47	3,76	37,99	76,20	96,99	23,34	28,12	34,68
14-Feb-15	0,03	1,27	3,48	53,83	81,97	97,11	22,08	27,11	33,63
05-Jun-15	0,11	1,48	3,60	38,42	68,23	90,04	25,23	29,73	34,72
19-Jun-15	0,12	1,22	3,02	38,42	67,91	90,12	22,10	27,91	33,52

Perubahan area di sekitar SPKU Kebonsari tidak mengalami banyak perubahan. Hanya perubahan bentuk taman dan perubahan kelompok perdu atau pohon kecil. Perubahan lahan area SPKU Kebonsari disajikan pada Gambar 4. 3 sampai Gambar 4. 7.



Citra 11 September 2013



Citra 17 September 2013

Gambar 4.3 Citra Google Earth Tanggal 11 September 2013 dan 17 September 2013

Pada gambar citra 11 September 2013 dan 17 September 2013 tidak terlihat adanya perubahan dari lahan sekitar area SPKU Kebonsari. Pengambilan citra yang berjarak hanya beberapa hari ini menyebabkan tidak terlihatnya perubahan di sekitar area SPKU.



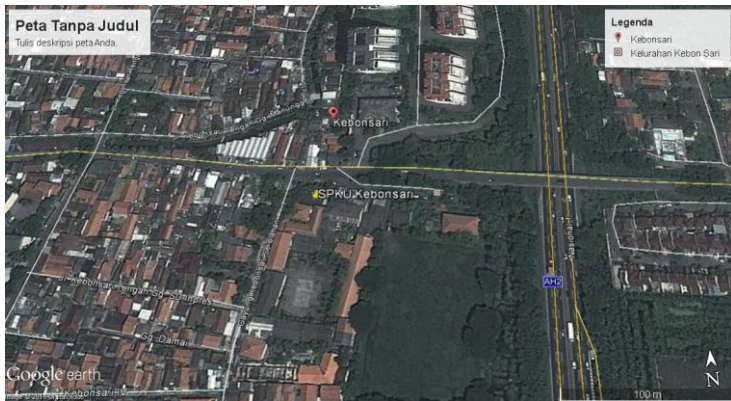
Citra 30 September 2013



Citra 14 November 2013

Gambar 4.4 Citra Google Earth Tanggal 30 September 2013 dan 14 November 2013

Citra 30 September 2013 dan 14 November 2013 tidak terlihat perubahan dari lahan sekitar SPKU Kebonsari.



Citra 24 Desember 2013

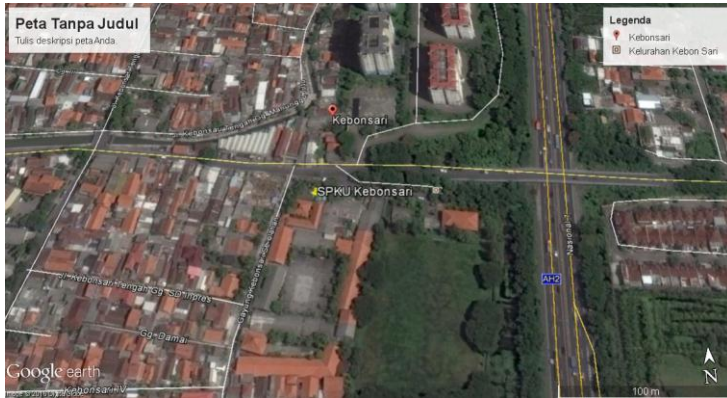


Citra 7 Agustus 2014

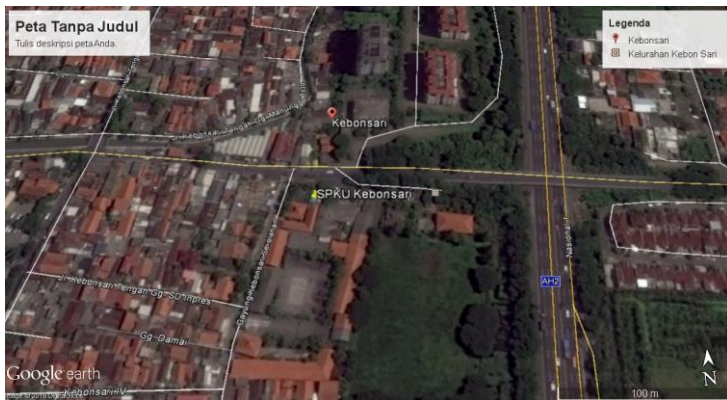
Gambar 4.5 Citra Google Earth Tanggal 24 Desember 2013 dan 7 Agustus 2014

Area sekitar SPKU Kebonsari pada citra 24 Des 2013 dan 7 Agustus 2014 tidak terlihat adanya perubahan pada hasil pengambilan citra satelit. Namun, jika diperhatikan dalam waktu satu tahun tersebut diduga pasti ada perubahan di sekitar

permukiman maupun jalan, hanya saja dapat terlihat kondisi RTH terutama rumput lebih rimbun dibandingkan citra sebelumnya.

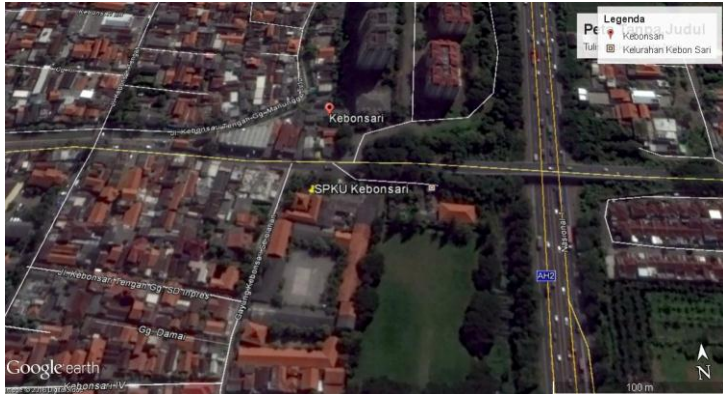


Citra 6 Januari 2015

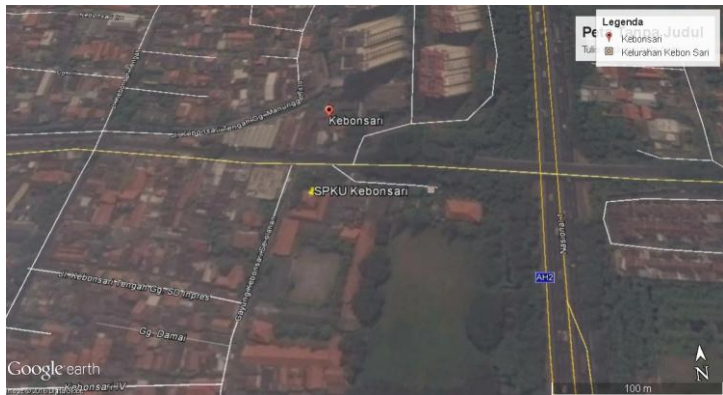


Citra 14 Februari 2015

Gambar 4.6 Citra Google Earth Tanggal 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015



Citra 5 Juni 2015



Citra 19 Juni 2015

Gambar 4.7 Citra Google Earth Tanggal 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015

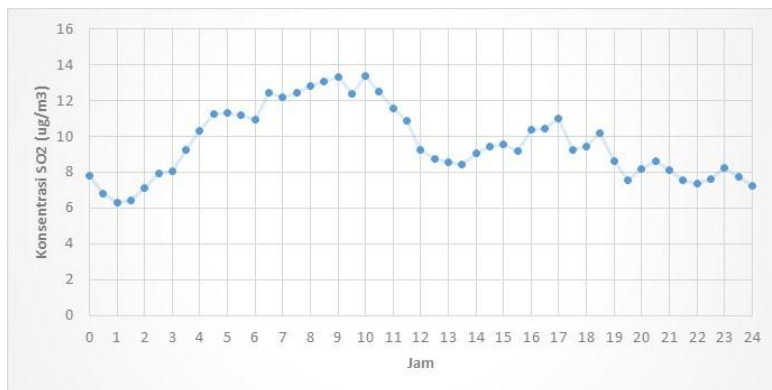
10 citra yang berhasil diinventarisasi dapat dibagi menjadi dua musim yaitu musim kering dan musim hujan. Penentuan musim pada citra ini disesuaikan dengan bulan pemotretan citra dan pembagiannya berdasarkan literatur Gusnita (2016). Citra

yang masuk dalam musim kering ada pada citra 11 September 2013, 17 September 2013, 30 September 2013, 7 Agustus 2014, 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015. Citra yang masuk dalam musim hujan adalah citra tanggal 14 November 2013, 24 Desember 2013, 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015.

4.3 Pola Konsentrasi SO₂ dan Hubungannya dengan Meteorologi

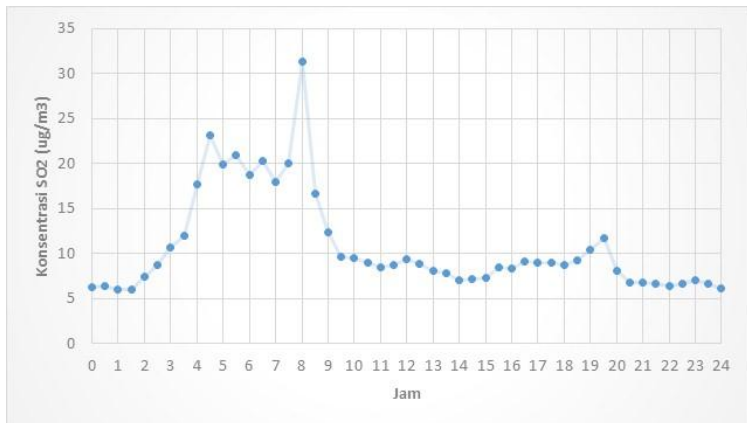
Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas pencemar udara yang dapat berkontribusi pada pemanasan global. SO₂ memiliki bahaya terhadap kesehatan manusia dan tumbuhan walaupun dengan kadar konsentrasi yang kecil. SO₂ dapat berasal dari tiga (3) sumber, yaitu : (1) Sumber pokok (pembangkit listrik, pabrik, pertambangan dan pengolahan logam), (2) Sumber daerah (pemanasan domestik dan distrik), dan (3) Sumber bergerak (kendaraan atau mesin diesel).

Konsentrasi SO₂ di udara ambien akan berubah setiap saat. Perubahan konsentrasi ini terlihat dari hasil pengukuran Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) yang tercatat setiap 30 menit. Pola konsentrasi yang digambarkan dalam grafik konsentrasi fungsi waktu, akan menunjukkan pola yang fluktuatif. Gambar 4.8 menunjukkan pola konsentrasi SO₂ udara ambien dimana sebagai contoh dibuat grafik perubahan konsentrasi untuk tanggal data 16 September 2013.



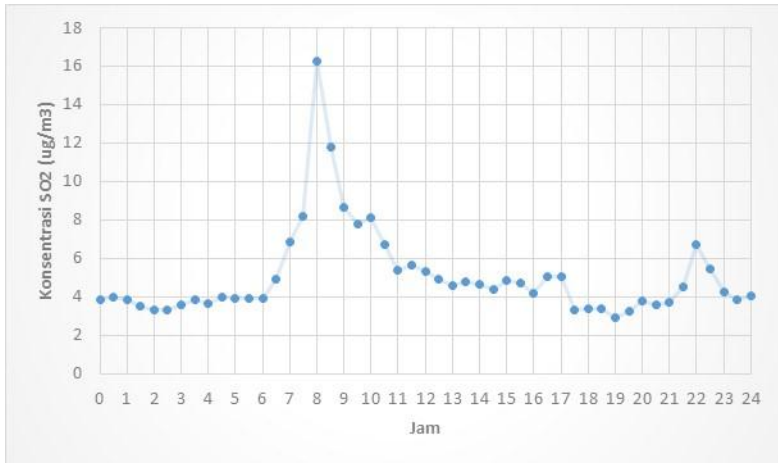
Gambar 4.8 Pola Konsentrasi SO₂ 16 Sept 2013

Pola konsentrasi SO₂ untuk tanggal 16 September 2013 diatas dapat dijelaskan, pada pagi hari yaitu pukul 04.00 pagi terlihat konsentrasi yang tercatat mengalami peningkatan. Peningkatan konsentrasi terlihat meningkat lagi pada pukul 06.30 pagi. Hal ini dapat diduga karena pada saat pagi hari keadaan kelembaban udara tinggi, dan juga mulai beraktivitasnya masyarakat. Pada pukul 12.00-14.00 terlihat dari grafik terjadi penurunan konsentrasi SO₂ yang diduga karena suhu udara telah meningkat sehingga terjadi pemuain udara yang dapat menyebabkan konsentrasi SO₂ menurun. Pada pukul 15.00-18.00 terlihat terjadi peningkatan kembali, namun tidak sebesar saat pagi hari,yang diduga karena arus kendaraan masyarakat setelah beraktivitas ataupun aktivitas pembakaran pada permukiman.



Gambar 4. 9 Pola Konsentrasi SO₂ 8 September 2013

Pada grafik pola konsentrasi SO₂ untuk tanggal 8 September 2013, terlihat bahwa kondisi tertinggi konsentrasi SO₂ ada pada pukul 04.00-08.30. peningkatan konsentrasi SO₂ ini dapat diduga karena mulainya aktivitas manusia saat mulai pagi hari.



Gambar 4. 10 Pola Konsentrasi SO₂ 26 Desember 2013

Gambar diatas menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ pada tanggal 26 Desember 2013 memiliki pola yang tinggi saat siang hari, dimulai dari pukul 07.00-10.30. Kondisi ini dapat disebabkan karena aktivitas masyarakat pada saat memulai hari, dan juga kondisi kelembaban udara yang masih tinggi, serta disebabkan karena kecepatan angin yang rendah.

Dari semua grafik pola konsentrasi di atas, terlihat bahwa konsentrasi SO₂ udara ambien yang tercatat oleh SPKU Kebonsari berada jauh dari baku mutu, yaitu baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 untuk baku mutu SO₂ udara ambien sebesar 262 µg/m³ dan di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh WHO adalah sebesar 125 µg/m³. Konsentrasi SO₂ untuk 69 data lainnya juga menunjukkan tidak ada yang melebihi baku mutu.

Pola konsentrasi SO₂ menunjukkan perbedaan pada siang hari dan malam hari. Perbedaan konsentrasi saat siang dan malam dapat dilihat dengan cara melakukan Uji Beda Statistik.

Uji beda statistik adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara dua sampel data atau beberapa sampel data. Uji beda pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan konsentrasi SO₂ saat waktu siang dan waktu malam. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan data

dalam 70 hari data yang dibagi dalam waktu siang dan waktu malam. Waktu siang hari terhitung saat masih adanya sinar matahari pada jam 06.00-18.00. Waktu pada malam hari, saat sudah tidak adanya sinar matahari yang terhitung pada jam 18.30-05.30. Tabel 4.3 Menunjukkan hasil dari uji beda dari konsentrasi SO₂ saat siang hari dan saat malam hari dengan menggunakan *Ms. Excel*.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Beda Statistik Konsentrasi SO₂ Siang dan Malam

	<i>siang</i>	<i>malam</i>
Mean	8,115525	6,517418
Variance	6,014761	0,51194
Observations	24	24
Pearson Correlation	0,650033	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	23	
t Stat	3,79973	
P(T<=t) one-tail	0,000462	
t Critical one-tail	1,713872	
P(T<=t) two-tail	0,000924	
t Critical two-tail	2,068658	

Tabel 4.3 dapat dijelaskan bahwa terjadi perbedaan rata-rata konsentrasi SO₂ saat siang hari dan saat malam hari. Konsentrasi rata-rata SO₂ saat siang hari adalah sebesar 8,11 µg/m³. Konsentrasi SO₂ saat malam hari adalah sebesar 6,51 µg/m³. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa rata-rata konsentrasi SO₂ saat siang hari lebih tinggi dibandingkan saat malam hari.

Dari uji beda antara konsentrasi SO₂ siang hari dan malam hari, membuktikan bahwa konsentrasi SO₂ saat siang dan malam hari berkorelasi (berhubungan) dan signifikan. Konsentrasi SO₂ saat siang dan malam dinyatakan berkorelasi yang terlihat dari hasil r-hitung > r-tabel. Nilai r-hitung sebesar 0,650 dan nilai r-tabel

sebesar 0,396. Perbedaan konsentrasi SO₂ siang dan malam memiliki hubungan yang signifikan yang terlihat dari hasil t-hitung dan P-value.

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah hipotesis dua arah, sehingga menggunakan *two tail*. Pada t-hitung memiliki nilai sebesar 3,799 dan t-tabel sebesar 2,068 sehingga t-hitung > t-tabel. Signifikansi hubungan ini dilihat dari nilai P-value yang memiliki nilai <5%. H₀ ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi SO₂ saat siang hari dengan konsentrasi SO₂ saat malam hari.

Konsentrasi SO₂ akan menunjukkan tren yang lebih tinggi pada saat siang hari yang dikarenakan meningkatnya aktivitas masyarakat (aktivitas permukiman) dan aktivitas transportasi di Jalan Tol Surabaya-Gempol dan juga masih terkandungnya uap air dalam udara sehingga konsentrasi SO₂ lebih besar saat pagi hari. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Bamahry (2012) yang menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ akan lebih tinggi saat siang hari dibandingkan dengan malam hari. Hal ini disebabkan karena pada saat siang hari masih berlangsungnya aktivitas manusia. Konsentrasi SO₂ dapat berada dalam kondisi tertinggi saat pagi hari yaitu kam 06.30-09.30.

Pola konsentrasi SO₂ akan berbeda-beda menurut waktu. Hal tersebut diduga karena adanya perbedaan volume kendaraan dan faktor atmosfer yang berbeda-beda untuk pagi, siang dan malam hari.

Konsentrasi SO₂ selama 70 hari yang telah dirata-rata, menunjukkan saat siang hari pukul 06.00-18.00 kisaran konsentrasi SO₂ adalah (5,76-13,47 µg/m³). Sedangkan pada saat malam hari pukul 18.30-05.30 kisaran konsentrasi rata-rata SO₂ adalah (5,64-11,90 µg/m³). Tren konsentrasi saat malam akan sedikit menurun karena aktivitas hanya lebih didominasi oleh kendaraan pada jalan tol. Namun tidak semua data menunjukkan tren yang sama (tinggi pada siang hari dan rendah pada malam hari) karena konsentrasi SO₂ sangat dipengaruhi atau sangat bergantung pada aktivitas yang ada. Setiap hari atau setiap saat akan selalu memiliki aktivitas yang berbeda.

Pola konsentrasi SO₂ udara ambien juga terlihat berbeda saat musim kering dan musim hujan. Konsentrasi rata-rata SO₂ terlihat lebih tinggi saat musim kering yaitu sebesar 8,60 µg/m³,

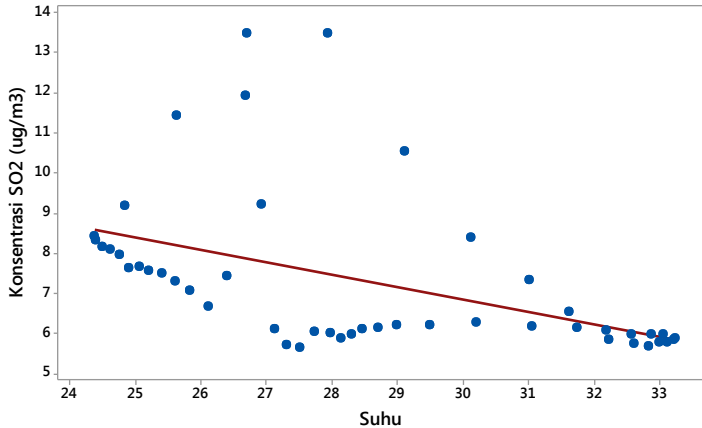
sedangkan konsentrasi SO₂ rata-rata lebih rendah saat musim hujan yaitu sebesar 5,39 µg/m³. Musim kering terdiri dari 6 citra yaitu 11 September 2013, 17 September 2013, 30 September 2013, 7 Agustus 2014, 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015. Musim hujan terdiri dari 4 citra yaitu 14 November 2013, 24 Desember 2013, 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015. Hal ini disebabkan karena saat musim kering kecepatan angin rendah, sehingga penyebaran SO₂ ke area yang lebih luas akan semakin lama. Hasil analisis ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gusnita (2016) dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ akan lebih tinggi saat musim kering dibandingkan dengan musim hujan.

Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa konsentrasi SO₂ udara ambien juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi yaitu kecepatan angin, kelembaban udara dan temperatur. Pada penelitian ini dilakukan analisis korelasi dan signifikansi antara konsentrasi SO₂ dengan kecepatan angin, konsentrasi SO₂ dengan temperatur dan konsentrasi SO₂ dengan kelembaban udara. Analisis korelasi dan signifikansi regresi ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar faktor meteorologi mempengaruhi konsentrasi SO₂ udara ambien.

4.3.1 Pengaruh Suhu Udara Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien

Nilai korelasi hubungan suhu dan konsentrasi, memberikan nilai statistik sebesar -0,4843 yang dapat dimutlakkan menjadi 0,4843 dan menunjukkan lebih besar dari r-tabel = 0,2845 ini bermakna bahwa indikator suhu berkorelasi cukup terhadap konsentrasi SO₂. Nilai korelasi bertanda negatif memiliki makna korelasi terbalik, bahwa saat terjadi suhu yang tinggi, konsentrasi SO₂ akan cenderung kecil, begitu pula sebaliknya. Gambar 4.9 menunjukkan hubungan suhu udara terhadap konsentrasi SO₂.

Berdasarkan grafik diperoleh pengaruh suhu terhadap konsentrasi SO₂ pada regresi linier dengan persamaan $y = -0,317x + 16,395$ dengan $R^2 = 0,235$. Hubungan antara suhu udara terhadap konsentrasi SO₂ berbanding terbalik yaitu saat suhu udara tinggi, maka konsentrasi SO₂ akan semakin rendah.



Gambar 4.11 Pengaruh Suhu Terhadap Konsentrasi SO₂

Hal ini terjadi karena adanya suhu yang tinggi akan menyebabkan densitas udara di dekat permukaan bumi menjadi lebih rendah dibandingkan dengan udara di bagian atasnya yang menyebabkan terjadinya aliran konveksi ke atas membawa polutan termasuk SO₂, akibatnya konsentrasi SO₂ menjadi rendah.

Selain itu, konsentrasi SO₂ cenderung menjadi lebih rendah karena pada saat suhu tinggi, kondisi udara lebih renggang. Kondisi udara yang lebih renggang ini dapat menyebabkan menurunnya konsentrasi SO₂ (Anthika *et al.*, 2012). Akibat adanya suhu udara yang tinggi yang disebabkan oleh sinar matahari, dapat menyebabkan pemuaiian udara yang mengakibatkan pengenceran konsentrasi gas pencemar.

Hasil analisis ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Shan *et al.*, (2011) di Taman Kota Shanghai, Cina dimana pada saat musim panas dengan suhu tinggi konsentrasi SO₂ pada udara ambien lebih kecil dibandingkan dengan tiga musim lainnya (musim semi, musim gugur dan musim salju).

Hasil ini juga didukung oleh penelitian Okoroafor (2014) yang menyatakan bahwa konsentrasi pencemar menurun seiring dengan meningkatnya temperatur. Sheryl (2002) mengatakan bahwa korelasi antara fluktuasi konsentrasi gas SO₂ dengan suhu udara nyata bersifat negatif, artinya apabila suhu udara tinggi

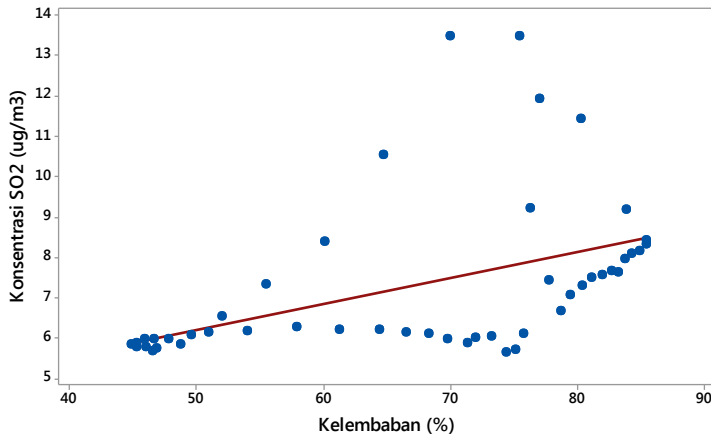
maka konsentrasi SO₂ yang terukur rendah. Istirokhatun *et al.*, (2016) yang juga menunjukkan hasil penelitiannya bahwa ketika suhu tinggi konsentrasi SO₂ lebih rendah dibandingkan saat suhu udara tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Anthika *et al.*, (2012) juga menunjukkan hasil yang sama yaitu konsentrasi SO₂ akan lebih tinggi saat suhu rendah, dibandingkan dengan saat suhu tinggi. Analisis korelasi pengaruh suhu terhadap konsentrasi SO₂ terdapat pada **Lampiran 1**.

Penelitian yang dilakukan oleh Istantinova *et al.*, (2012) menunjukkan hasil penelitian yang berbeda. Hasil penelitian yang dilakukan di PT. Inti General Yaja Steel ini menghasilkan bahwa temperatur udara terhadap konsentrasi berkorelasi positif. Hal ini dapat disebabkan karena penelitian yang ia lakukan dalam skala pabrik (kawasan) sementara penelitian SPKU Kebonsari ini dalam skala kota sehingga kawasannya lebih luas.

4.3.2 Pengaruh Kelembaban Udara Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien

Nilai korelasi hubungan kelembaban terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien menghasilkan nilai korelasi sebesar 0,4733. Uji korelasi ini memiliki makna bahwa kelembaban udara berkorelasi cukup terhadap konsentrasi SO₂. Nilai korelasi ini bertanda positif menandakan bahwa hubungan antara kelembaban dengan konsentrasi SO₂ berbanding lurus. Saat kelembaban udara tinggi, konsentrasi SO₂ udara ambien akan cenderung tinggi. Nilai korelasi yang dihasilkan menunjukkan lebih besar dari r-tabel =0,2845 yang menunjukkan bahwa kelembaban udara mempengaruhi konsentrasi SO₂ udara ambien secara signifikan. Gambar 4.10 menggambarkan tren yang terbentuk antara kelembaban udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien.



Gambar 4.12 Pengaruh Kelembaban Terhadap Konsentrasi SO₂

Berdasarkan grafik diperoleh pengaruh kelembaban terhadap konsentrasi SO₂ pada regresi linier $y = 0,066x + 2,195$ dengan $R^2 = 0,224$. Hubungan antara kelembaban udara dengan konsentrasi SO₂ berbanding lurus, semakin tinggi kelembaban, maka konsentrasi SO₂ akan semakin cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan karena saat kelembaban udara rendah, uap air yang dikandung udara jumlahnya sedikit sehingga pada saat itu dispersi udara akan terjadi lebih cepat karena udara bergerak tanpa terhambat oleh uap air. Kelembaban udara yang tinggi menyebabkan dispersi udara menjadi lambat karena banyaknya uap air di udara akan memperlambat aliran udara baik secara vertikal maupun horizontal, sehingga konsentrasi SO₂ menjadi tinggi.

Hasil ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Eichert dan Fernandez (2012), kehadiran SO₂ sebagai polutan di udara dapat berdampak buruk bagi lingkungan yang diperparah saat kelembaban udara tinggi karena dapat berubah menjadi asam sulfat. Hasil analisis ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Bamahry (2012) dimana dari hasil penelitiannya konsentrasi SO₂ saat pagi hari dengan kondisi kelembaban yang masih tinggi konsentrasinya lebih besar dibandingkan dengan saat

siang dan sore hari. Anthika *et al.*, (2012) dan Sheryl (2002) yang juga menyatakan konsentrasi SO₂ tertinggi saat kelembaban udara tinggi. Analisis korelasi pengaruh kelembaban udara terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien terdapat pada **Lampiran 1**.

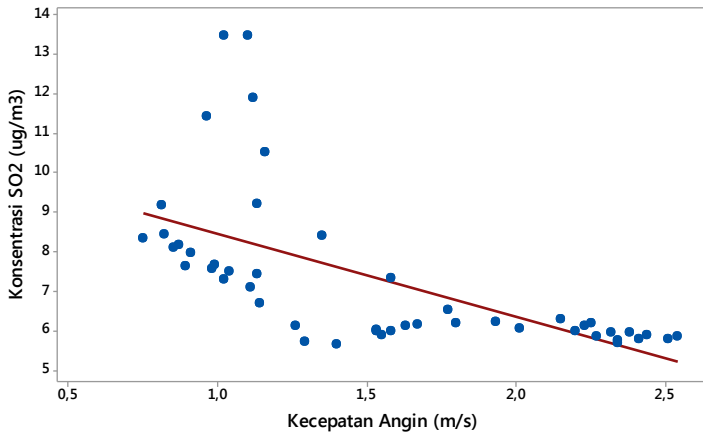
Dari beberapa penelitian terdahulu yang menghasilkan hasil penelitian yang sama, penelitian yang dilakukan oleh Istantinove *et al.*, (2012) menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil yang ditunjukkan adalah antara kelembaban udara dengan konsentrasi SO₂ berbanding lurus. Perbedaan hasil ini dapat diduga karena perbedaan lokasi penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Istantinova *et al.*, (2012) berlokasi di PT. Yaja General Steel (skala kawasan) sedangkan penelitian ini dilakukan dengan data kualitas udara adalah skala kota.

4.3.3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien

Kecepatan angin juga termasuk faktor meteorologi yang mempengaruhi konsentrasi SO₂ udara ambien. Nilai korelasi yang dihasilkan dari pengaruh kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien adalah sebesar -0,6184, yang dimutlakan menjadi 0,6184 dan menunjukkan nilai yang lebih besar dari r-tabel = 0,2845 yang menunjukkan terjadi korelasi kuat antara kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien.

Nilai korelasi bertanda negatif menandakan bahwa antara kecepatan angin dan konsentrasi SO₂ udara ambien terjadi korelasi berbanding terbalik. Saat kecepatan angin tinggi, konsentrasi SO₂ akan menjadi rendah. Begitu juga sebaliknya, saat kecepatan angin rendah, konsentrasi SO₂ akan menjadi tinggi. Gambar 4.11 menunjukkan tren yang terbentuk antara kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂.

Dari grafik dibawah menghasilkan persamaan yaitu $y = -2,098x + 10,53$ dengan $R^2 = 0,371$. Hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi berbanding terbalik, dimana saat kecepatan angin tinggi, konsentrasi SO₂ rendah dan saat kecepatan angin rendah konsentrasi SO₂ akan menjadi tinggi. Kecepatan angin yang tinggi menyebabkan penyebaran udara ke daerah yang lebih luas terjadi dengan cepat sehingga konsentrasi menjadi rendah di sekitar SPKU Kebonsari.



Gambar 4.13 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi SO₂

Kecepatan angin yang rendah menyebabkan penyebaran udara ke daerah yang lebih luas berlangsung lebih lambat, sehingga hanya terakumulasi di sekitar area SPKU. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Anthika *et al.*, (2012) dan Istantinova *et al.*, (2012), Analisis pengaruh korelasi kecepatan angin terhadap konsentrasi SO₂ terdapat pada **Lampiran 1**.

Dari tiga faktor meteorologi yaitu temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin, yang paling besar kemampuannya dalam menjelaskan pengaruh meteorologi terhadap konsentrasi SO₂ pada udara ambien adalah kecepatan angin. Hal ini dapat dilihat dari nilai *R-square* yang dihasilkan pada analisis hubungan konsentrasi SO₂ dengan kecepatan angin yaitu sebesar 37,1% lebih besar dibandingkan dengan *R-square* yang dihasilkan oleh hubungan temperatur udara dengan konsentrasi SO₂ dan hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi SO₂. Tiga faktor meteorologi ini tidak dimasukkan dalam pembentukan persamaan nilai reduksi, tapi hanya dibahas bagaimana pengaruhnya terhadap konsentrasi SO₂ udara ambien.

4.4 Pengolahan Data Spasial dan Pembuatan Unit Pengukuran

Data spasial adalah data keruangan atau data yang menggambarkan wilayah diatas permukaan bumi dan ditampilkan dalam bentuk peta ataupun gambar. Data spasial sebelumnya telah dikumpulkan dari tahun berdirinya SPKU Kebonsari. Pembuatan unit pengukuran (*box*) menggunakan pengolahan data non spasial berupa arah angin dan kecepatan angin yang digunakan untuk perhitungan dimensi *box*.

Unit pengukuran dalam penelitian ini adalah sebuah kotak (*box*) yang digunakan untuk mengetahui jumlah proporsi ruang terbuka hijau dan proporsi non-RTH yang terbagi atas bangunan dan jalan/lahan kosong. Ukuran (dimensi) dan arah dari unit pengukuran akan berbeda setiap harinya karena didasarkan pada kecepatan angin dan arah angin hari tersebut.

Dimensi *box* didapatkan dari perhitungan kecepatan angin rata-rata (m/s) dalam satu hari, dikalikan dengan 1 menit (60 s) yaitu waktu yang digunakan alat dalam SPKU untuk pengambilan sampel udara sehingga didapatkan dimensi *box* dalam satuan (m). Untuk arah *box* juga akan berbeda pada setiap harinya karena didasarkan pada arah angin yang ada pada hari tersebut. Arah angin ini juga menandakan pergerakan pencemar udara bergerak menuju ke arah mana. Arah angin digunakan untuk menentukan arah *box* yang dapat dihitung dari arah angin rata-rata pada hari tersebut. Jumlah unit pengukuran yang dibuat adalah sebanyak 70 *box* untuk 10 citra (7 *box* untuk 1 citra). Perhitungan unit pengukuran ada pada **Lampiran 2**.

Ukuran *box* terkecil yang terlihat setelah hasil perhitungan terjadi pada tanggal 8 Februari 2015 untuk penggunaan citra 14 Februari 2015 yaitu dengan panjang sisi *box* 44 m x 44 m dengan arah *box* 139,21°. Ukuran *box* terbesar ada pada tanggal 7 Agustus 2014 dengan dimensi *box* 200 m x 200 m dan arah *box* adalah 104,81°.

Pada penelitian ini juga dilihat arah angin berdasarkan kuadran untuk mengetahui arah angin lebih dominan menuju kemana. Arah angin dikluster berdasarkan empat (4) kuadran. Dari 10 citra yang digunakan dengan rata-rata selama satu minggu, terlihat hasil bahwa pada saat musim kering yang terdapat enam (6) citra yang terdiri dari citra tanggal 11 September 2013, 17

September 2013, 30 September 2013, 7 Agustus 2014, 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015, arah angin selalu berada pada kuadran dua. Sementara pada saat musim hujan yang terdiri dari empat (4) citra yaitu citra tanggal 14 November 2013, 24 Desember 2013, 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015 arah angin selalu berada pada kuadran empat. Hasil ini menunjukkan bahwa saat musim kering dan musim hujan arah angin berbalik. Hal ini menunjukkan bahwa saat musim kering, *box* akan mengarah pada kuadran dua dan saat musim hujan *box* akan mengarah pada kuadran empat. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gusnita (2016) di Kota Surabaya yang mengatakan bahwa pada saat musim kering, angin di Kota Surabaya dominan bergerak dari Timur ke Barat. Saat musim hujan, angin di Kota Surabaya dominan bergerak dari Barat ke Timur. Pada saat *box* berada pada kuadran dua, maka polutan yang bersumber dominan dari daerah permukiman. Sementara saat *box* ada pada kuadran empat, maka polutan yang bersumber dominan dari arah Jalan Tol Surabaya-Gempol.

Perhitungan dimensi *box* yang telah didapatkan, kemudian diplotkan pada *Google Earth* dengan titik pusat yaitu koordinat SPKU Kebonsari (7°19'41.42"S dan 112°42'48.82"E) atau dalam satuan UTM (689157,9189612). Gambar *Google Earth* disimpan untuk dilakukan proses retifikasi pada *Global Mapper*. Tujuan dari proses retifikasi ini adalah untuk merubah data yang tidak memiliki koordinat, menjadi data yang memiliki koordinat. Sehingga saat perhitungan proporsi nanti menghasilkan hasil yang akurat dengan keadaan asli pada lapangan. Gambar peta yang sudah teretifikasi, kemudian dihitung luasan ruang terbuka hijau dan non ruang terbuka hijau (bangunan dan jalan) menggunakan software *Arc View 3.3*. Perhitungan luasan lahan dilakukan secara visual. Gambar peta delineasi disajikan dalam **Lampiran 4**.

Perhitungan delineasi RTH dan non-RTH dilakukan untuk 70 data, dimana 7 data untuk 1 citra. Karena terdapat 10 citra, dilakukanlah proses retifikasi dan perhitungan proporsi RTH dan non-RTH untuk 70 data. Setelah didapatkan proporsi RTH dan non-RTH (bangunan dan jalan) dihitung rata-rata setiap proporsi untuk masing-masing citra. Dilakukan perhitungan rata-rata untuk masing-masing citra ini adalah untuk menghasilkan data yang mewakili waktu satu minggu pada satu citra *Google Earth*. Tabel 4.4 menyajikan rata-rata proporsi RTH dan non-RTH setiap citra.

Tabel 4.4 Rata-Rata Proporsi RTH dan Non-RTH Pada Setiap Citra

Tanggal Citra	Rata-Rata % RTH	Rata-Rata % Bangunan	Rata-Rata % Jalan
11-Sep-13	22,38	61,02	16,59
17-Sep-13	19,97	64,91	15,12
30-Sep-13	20,10	60,70	19,20
14-Nov-13	24,14	56,28	19,57
24-Des-13	22,39	60,43	17,18
07-Agu-14	24,15	60,68	15,17
06-Jan-15	19,68	57,08	23,24
14-Feb-15	23,02	57,14	19,84
05-Jun-15	22,68	57,58	19,75
19-Jun-15	24,10	57,87	18,04

Dari tabel diatas, dapat dilihat proporsi RTH terbesar ada pada tanggal citra 7 Agustus 2014. Pada citra tersebut rata-rata proporsi RTH paling besar disebabkan karena box pada citra 7 Agustus 2014 berukuran lebih besar dibandingkan dengan box pada citra yang lainnya. Ukuran box besar disebabkan karena kecepatan angin pada hari tersebut besar. Data dimensi box dan hasil delineasi dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

Dalam struktur dan pemanfaatan ruang kota, RTH juga berperan dalam menjaga keseimbangan penggunaan lahan dan merupakan komponen pembentuk struktur dan tata ruang kota sesuai dengan hierarki peruntukannya. Sebagai konsekuensi dari berbai hal ini dapat dinyatakan bahwa keberadaan suatu RTH dan juga kelestarian keberadaannya sangat dibutuhkan dalam mengendalikan pembangunan dan perkembangan suatu wilayah perkotaan.

4.5 Pengolahan Data Non-Spasial (Perhitungan Kumulatif Konsentrasi SO₂)

Pengolahan data non-spasial pada penelitian ini adalah pengolahan data konsentrasi SO₂ selama 24 jam hasil rekaman SPKU Kebonsari. Data konsentrasi SO₂ selama 24 jam diolah

untuk mendapatkan nilai kumulatif konsentrasi SO₂ selama 24 jam. Kumulatif konsentrasi dalam satu periode (24 jam) dapat digunakan sebagai indikator reduksi SO₂ udara ambien. Nilai KSO₂ bertanda negatif (-) artinya reduksi lebih besar dibandingkan dengan emisi. Sebaliknya jika nilai KSO₂ bertanda positif (+) artinya reduksi SO₂ lebih kecil dari emisi SO₂ udara ambien. Dengan kata lain, RTH di area tersebut kurang mencukupi.

Nilai konsentrasi SO₂ digunakan untuk menggambarkan kondisi kualitas udara sesaat karena konsentrasi SO₂ berubah setiap saat. Pada area berbeda, konsentrasi SO₂ juga akan berbeda. Konsentrasi SO₂ di suatu area akan dipengaruhi oleh variabel RTH sebagai reduktor SO₂ dan penggunaan lahan bukan RTH sebagai sumber SO₂.

Data konsentrasi SO₂ selama 24 jam, dihitung nilai laju perubahan konsentrasinya dengan rumus pada 2.4.

$$KSO_2 = \frac{\Delta C}{\Delta t} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana, ΔC adalah perubahan konsentrasi SO₂ saat rentang waktu Δt. Selisih waktu adalah 30 menit sesuai dengan waktu pengambilan data konsentrasi SO₂ oleh alat SPKU. Kemudian, setelah didapatkan nilai $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ diplotkan pada grafik $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ fungsi waktu sehingga akan didapatkan grafik laju perubahan konsentrasi SO₂.

Nilai kumulatif konsentrasi SO₂ sebagai indikator reduksi, dihitung dengan menggunakan rumus 2.6.

$$K_{SO_2} = \frac{\Delta t}{2} [f(t_0) + f(t_n) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)] \dots \dots \dots (2)$$

Dimana f(t₀) adalah nilai fungsi $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ saat waktu ke-0, f(n) adalah nilai fungsi $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ saat waktu ke-n. Nilai $\sum_{i=1}^{n-1} f(c_i)$ adalah hasil penjumlahan dari $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ saat waktu ke-0 sampai waktu ke-(n-1). Dari perhitungan tersebut, akan dihasilkan kumulatif konsentrasi SO₂ bertanda positif (+) atau bertanda negatif (-). Contoh perhitungan ada dalam **Lampiran 3**.

Hasil perhitungan nilai reduksi SO₂ (kumulatif konsentrasi) terlihat berbeda pada citra masing-masing musim. Pada musim kering yang jatuh pada citra 11 September 2013, 17 September 2013, 30 September 2013, 7 Agustus 2014, 5 Juni 2015 dan 19 Juni 2015 menghasilkan rata-rata KSO₂ sebesar 5,17 µg/m³. Kumulatif konsentrasi SO₂ bernilai positif (+) menunjukkan bahwa nilai emisi lebih besar dari nilai reduksi. Ini dapat disebabkan karena saat musim kering, konsentrasi SO₂ lebih tinggi dibandingkan musim hujan.

Musim kering juga mempengaruhi kondisi RTH yang ada di area sekitar SPKU Kebonsari. Pada musim kering keadaan RTH tidak rimbun seperti keadaan RTH saat musim hujan (kanopi pohon tidak luas) sehingga kemampuan mereduksi SO₂ tidak banyak. Selain itu juga disebabkan karena tidak adanya air yang melarutkan SO₂, seperti saat musim hujan.

Citra untuk musim penghujan ada pada citra 14 November 2013, 24 Desember 2013, 6 Januari 2015 dan 14 Februari 2015. Rata-rata KSO₂ sebagai indikator reduksi SO₂ yang ada pada musim hujan sebesar -8,95 µg/m³. Nilai kumulatif konsentrasi bernilai negatif (-) menunjukkan kemampuan RTH dalam mereduksi SO₂ lebih banyak dibandingkan emisi yang ada. Hal ini dapat disebabkan karena saat musim hujan, konsentrasi SO₂ pada udara ambien lebih kecil dibandingkan musim kemarau dan kondisi RTH saat musim hujan terlihat lebih rimbun dari musim kering.

RTH saat musim hujan yang dalam keadaan rimbun, akan memiliki proporsi tutupan pohon (kanopi pohon) yang lebih besar. Pada musim hujan pun akan tumbuh lebih banyak rumput dan perdu, sehingga lebih banyak SO₂ yang mampu direduksi. Penelitian ini juga disebutkan oleh Hu *et al.*, (2016) yang mengatakan bahwa konsentrasi SO₂ akan semakin kecil jika proporsi tutupan kanopi pohon semakin besar. Kanopi pohon yang besar akan memiliki kemampuan lebih banyak dalam mereduksi SO₂ udara ambien.

Pada musim kemarau, bukan berarti tidak pernah terjadi reduksi SO₂, karena reduksi SO₂ akan berjalan setiap saat. Hanya saja, emisi yang dihasilkan dari kegiatan manusia dan interaksi konsentrasi tersebut dengan meteorologi akan menghasilkan emisi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi. Sedangkan,

pada musim hujan, konsentrasi SO₂ lebih kecil sehingga lebih banyak yang mampu direduksi.

Tanda dari nilai kumulatif SO₂ dapat terlihat dari grafik yang ada dalam contoh perhitungan pada **Lampiran 3**. Tren yang terbentuk dibawah garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ adalah tren grafik yang menunjukkan terjadinya reduksi SO₂ sehingga bertanda negatif (-). Tren yang terbentuk diatas garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ adalah tren grafik yang menunjukkan terjadinya emisi sehingga bertanda positif (+). Sehingga apabila area diatas garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ lebih besar dibandingkan area dibawah garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$, akan membentuk nilai kumulatif yang bertanda positif (+) dan juga sebaliknya. Apabila area tren dibawah garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ lebih besar dibandingkan area diatas garis $\frac{\Delta C}{\Delta t}=0$ maka nilai kumulatif SO₂ akan bertanda negatif (-).

Perhitungan kumulatif konsentrasi ini dilakukan untuk 70 data seperti perhitungan pada unit pengukuran delineasi *Google Earth*. Kemudian dari 70 data yang telah dihitung nilai kumulatif konsentrasi SO₂, akan dihitung rata-rata KSO₂ untuk satu citra. Sehingga nanti menghasilkan satu nilai rata-rata kumulatif dari masing-masing citra dan menghasilkan 10 nilai kumulatif dari 10 citra yang akan dikorelasikan dengan hasil delineasi proporsi RTH, bangunan dan jalan. Hasil perhitungan kumulatif dan hasil delineasi RTH, bangunan dan jalan untuk 70 data terdapat pada **Lampiran 5**.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji hubungan antara nilai reduksi SO₂ oleh ruang terbuka hijau (RTH) dan dengan melibatkan variabel non-RTH (bangunan dan jalan). Hubungan ini dilakukan untuk menentukan apakah RTH dan non-RTH berpengaruh terhadap nilai reduksi SO₂ dan seberapa besar pengaruh variabel tersebut dalam mereduksi SO₂ udara ambien. Tabel 4.5 dibawah ini menyajikan rata-rata nilai KSO₂ untuk setiap citra.

Tabel 4.5 Rata-Rata KSO₂ untuk Setiap Citra

Tanggal Citra	Rata-Rata KSO ₂ (ug/m3)	Rata-Rata SO ₂ (ug/m3)
11-Sep-13	9,898	11,535

Tanggal Citra	Rata-Rata KSO ₂ (ug/m3)	Rata-Rata SO ₂ (ug/m3)
17-Sep-13	14,755	11,470
30-Sep-13	9,715	12,267
14-Nov-13	-29,099	8,369
24-Des-13	3,353	3,756
07-Agu-14	1,534	6,847
06-Jan-15	-0,505	4,902
14-Feb-15	-9,575	4,390
05-Jun-15	-2,984	4,726
19-Jun-15	-1,884	4,657

Penelitian ini juga menghasilkan model RTH sebagai fungsi untuk mereduksi SO₂ udara ambien, sehingga terlebih dahulu akan digunakan uji statistik untuk RTH, bangunan dan jalan apakah berpengaruh terhadap reduksi SO₂ udara ambien.

4.6 Uji Korelasi dan Signifikansi Variabel RTH dan Non-RTH Terhadap Nilai Reduksi SO₂

Uji statistik bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel dalam penelitian ini. Uji statistik yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji korelasi dan signifikansi. Uji korelasi bertujuan untuk mengukur kekuatan hubungan antar dua variabel, dengan kata lain apakah dua variabel tersebut saling berkaitan atau tidak. Selain itu, uji korelasi ini dilakukan juga untuk mengetahui berapa besar hubungan antara variabel terikat terhadap variabel bebas dan bagaimana arah hubungan variabel tersebut. Uji korelasi dan signifikansi pada penelitian ini menggunakan Ms. Excel.

Uji korelasi akan menggabungkan dua variabel yaitu variabel terikat terhadap variabel bebas dimana dalam penelitian ini yang masuk dalam variabel terikat adalah proporsi RTH, proporsi luas bangunan dan proporsi luas jalan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah KSO₂. Uji korelasi ini akan menghasilkan koefisien korelasi yang akan menunjukkan kekuatan

antara dua variabel. Koefisien korelasi yang didapat dari analisis, kemudian dibandingkan dengan r tabel statistika.

Penelitian ini menggunakan uji dua arah karena melakukan pengujian hipotesis yang belum diketahui arah korelasinya. Analisis korelasi proporsi RTH terhadap KSO_2 menghasilkan koefisien korelasi sebesar -0,64125, yang menunjukkan bahwa antara proporsi RTH dan KSO_2 berkorelasi kuat. Untuk mengetahui apakah nilai korelasi tersebut signifikan (bermakna) atau tidak, dibandingkan dengan tabel r statistik dengan tingkat signifikansi 5 % ($\alpha=0,05$) dengan db (derajat bebas) 2, maka $10-2=8$. Dilihat pada r tabel dengan $n=8$ dan tingkat signifikansi 5% yaitu sebesar 0,632. Dengan nilai tersebut, menunjukkan bahwa $r_{hitung} > r_{tabel}$ sehingga secara nyata proporsi RTH berhubungan dengan nilai KSO_2 . Tabel 4.6 menunjukkan hasil korelasi dari analisis korelasi pada Ms. Excel.

Tabel 4.6 Tabel Korelasi Proporsi RTH Terhadap KSO_2

	<i>proporsi</i>	KSO_2
proporsi	1	
KSO_2	-0,64125	1

Nilai korelasi menunjukkan tanda negatif yang berarti terjadi arah hubungan yang berbalik. Nilai korelasi menunjukkan bahwa saat proporsi RTH bertambah, maka nilai KSO_2 akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya apabila proporsi RTH berkurang maka nilai KSO_2 akan semakin besar.

Setelah dilakukan analisis korelasi, kemudian akan dilakukan analisis regresi dan signifikansi. Tujuan utama dari analisis regresi ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel terikat (proporsi RTH) terhadap variabel bebas (KSO_2). Sementara, uji signifikansi digunakan untuk menguji apakah korelasi tersebut signifikan atau tidak, sesuai dengan tingkat signifikansi (kepercayaan) yang telah ditentukan yaitu sebesar 5%. Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 menyajikan mengenai nilai regresi dan nilai signifikansi proporsi RTH terhadap KSO_2 .

Tabel 4.7 Tabel Regresi Proporsi RTH Terhadap KSO₂.

SUMMARY OUTPUT	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,64125
R Square	0,411201
Adjusted R Square	0,337601
Standard Error	10,0474
Observations	10

Tabel 4.8 Uji Signifikansi Proporsi RTH Terhadap KSO₂

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	564,0072315	564,0072	5,586981	0,045695
Residual	8	807,6021285	100,9503		
Total	9	1371,60936			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	106,7201304	45,46338566	2,347386	0,046872	1,881375067	211,5588857
proporsi	-4,82266198	2,04031969	-2,36368	0,045695	-9,527647617	-0,117676334

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa korelasi proporsi RTH terhadap KSO₂ menghasilkan nilai t hitung sebesar 2,364. Nilai t tabel untuk $df = 1$ ($10-1=9$) adalah sebesar 2,262. Jika dibandingkan dengan t hitung yaitu sebesar 2,364 yang berarti bahwa $t \text{ hitung} > t \text{ tabel}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh proporsi RTH terhadap KSO₂ adalah signifikan (bermakna). Selain membandingkan antara t hitung dan t tabel, signifikansi nilai regresi juga dapat dilihat dari signifikansi t hitung. Nilai signifikansi t hitung adalah sebesar 0,04 lebih kecil dari α (kemungkinan tingkat kesalahan) yang telah ditentukan yaitu sebesar 5% (0,05) atau dengan kata lain $P\text{-value} < 0,05$.

Besarnya pengaruh dapat dilihat dari R^2 (R Square) sebesar 0,411 yang bermakna bahwa variasi SO_2 mampu dijelaskan sebanyak 41% oleh proporsi RTH.

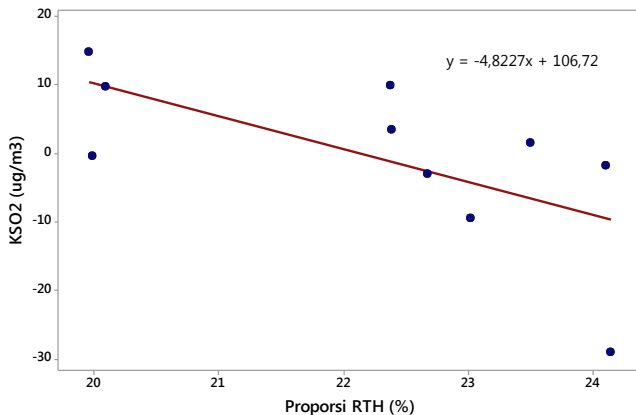
Dari nilai-nilai pada tabel diatas, dapat dibuat persamaan regresi dan grafik hubungan proporsi RTH dengan nilai reduksi SO_2 pada Gambar 4.12 sebagai berikut :

$$Y = bx + a$$
$$= -4,822x + 106,72$$

Persamaan diatas dapat dijelaskan bahwa penambahan 1% proporsi RTH mampu menurunkan konsentrasi SO_2 udara ambien sebanyak $4,822 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Selain korelasi terhadap nilai KSO_2 , juga dilakukan analisis korelasi proporsi RTH terhadap SO_2 rata-rata. Proporsi RTH terhadap nilai SO_2 rata-rata menghasilkan korelasi negatif, yang bermakna bahwa semakin tinggi proporsi RTH maka konsentrasi SO_2 rata-rata semakin rendah.

Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 dapat dijelaskan bahwa proporsi RTH yang semakin besar akan menyebabkan penurunan pada KSO_2 dan SO_2 rata-rata. Hasil penelitian ini mendukung penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa pohon mampu mempengaruhi reduksi SO_2 udara ambien. Semakin besar proporsi kanopi pohon, maka ada kecenderungan konsentrasi SO_2 udara ambien semakin kecil.

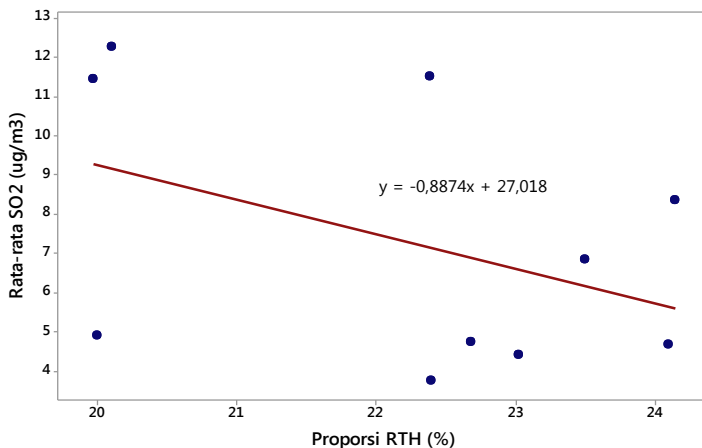


Gambar 4.14 Hubungan Pengaruh Proporsi RTH dengan Nilai Reduksi SO_2

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara proporsi RTH dengan nilai reduksi SO₂ (KSO₂). Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa antara variabel RTH dengan variabel KSO₂ terjadi hubungan berbanding terbalik. Dimana persamaan yang dihasilkan adalah $y = -4,8227x + 106,72$ yang bermakna bahwa, penambahan 1% RTH mampu mereduksi sebesar 4,8227 µg/m³ SO₂.

Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa RTH minimum yang dimiliki oleh area SPKU berdasarkan luasan box adalah sebesar 19,97 % dan RTH maksimum adalah sebesar 24,15 %. Dari grafik terlihat, apabila menginginkan nilai reduksi SO₂ semakin besar, maka dibutuhkan area RTH yang semakin luas.

Diambil salah satu contoh dari grafik yaitu jika proporsi RTH sebesar 23,03 % setelah ditarik garis keatas dan memotong garis regresi kemudian menuju ke nilai KSO₂, didapatkan nilai KSO₂ sebesar -9,575 µg/m³. Hal ini dapat dijelaskan bahwa, dengan keberadaan RTH seluas 23,03 %, maka SO₂ yang mampu tereduksi sebesar 9,575 µg/m³.



Gambar 4.15 Hubungan Pengaruh Proporsi RTH dengan Konsentrasi SO₂ Rata-Rata

Gambar 4.13 dapat dijelaskan bahwa keberadaan RTH juga dapat mempengaruhi konsentrasi SO₂ rata-rata dalam udara

ambien. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya korelasi negatif antara proporsi RTH dengan nilai SO₂ rata-rata udara ambien. Korelasi negatif ini bermakna saat proporsi RTH meningkat, maka ada kecenderungan konsentrasi rata-rata SO₂ udara ambien akan menurun, dari menurunnya konsentrasi rata-rata SO₂ ini akan menyebabkan semakin banyaknya SO₂ yang tereduksi oleh RTH.

Variabel non-RTH yaitu proporsi luas bangunan dan proporsi luas jalan juga dilakukan uji korelasi dan signifikansi terhadap nilai KSO₂. Dilakukan uji ini pada variabel non-RTH untuk mengetahui apakah ada korelasi atau dengan kata lain ada pengaruh non-RTH terhadap nilai reduksi SO₂. Korelasi ini dilakukan antara variabel terikat (non-RTH) dengan variabel bebas (KSO₂).

Pada variabel proporsi luas bangunan terhadap KSO₂ menghasilkan korelasi sebesar 0,51 yang menunjukkan bahwa antara proporsi luas bangunan dan KSO₂ berkorelasi. Untuk mengetahui apakah nilai korelasi tersebut signifikan (bermakna) atau tidak, dibandingkan dengan tabel r statistik dengan tingkat signifikansi 5 % ($\alpha=0,05$) dengan db (derajat bebas) 2, maka 10-2 =8. Dilihat pada r tabel dengan n=8 dan tingkat signifikansi 5% yaitu sebesar 0,632. Dengan nilai tersebut, menunjukkan bahwa r hitung < r tabel sehingga secara nyata proporsi luas bangunan berhubungan tidak signifikan (bermakna) terhadap nilai reduksi (KSO₂). Tabel 4.9 Menunjukkan hasil korelasi proporsi bangunan terhadap nilai reduksi SO₂ (KSO₂).

Tabel 4.9 Korelasi Proporsi Bangunan Terhadap KSO₂

	<i>Bangunan</i>	<i>KSO₂</i>
Bangunan	1	
KSO ₂	0,510228142	1

Korelasi antara proporsi RTH terhadap nilai reduksi SO₂ menghasilkan korelasi bernilai positif (+) yang berarti bahwa semakin besar proporsi bangunan maka akan memberikan nilai KSO₂ yang semakin besar. Tabel 4.10 menyajikan uji signifikansi hubungan proporsi bangunan terhadap nilai reduksi SO₂.

Tabel 4.10 Uji Signifikansi Proporsi Bangunan Terhadap KSO₂

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,510228142
R Square	0,260332757
Adjusted R Square	0,167874352
Standard Error	11,26343588
Observations	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	357,2104	357,210488	2,81567431	0,131866852
Residual	8	1014,919	126,864987		
Total	9	1372,130			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-125,6993734	74,70963108	-1,68250561	0,130972041	-297,9800916	46,58134482
Bangunan	2,114097469	1,259893387	1,677997115	0,131866852	-0,791221892	5,019416829

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa korelasi proporsi bangunan terhadap KSO₂ menghasilkan nilai t hitung sebesar 1,678. Nilai t tabel untuk $df = 1$ ($10-1=9$) adalah sebesar 2,262. Jika dibandingkan dengan t hitung yaitu sebesar 1,678 yang berarti bahwa $t \text{ hitung} < t \text{ tabel}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh proporsi bangunan terhadap KSO₂ adalah tidak signifikan (bermakna). Selain membandingkan antara t hitung dan t tabel, signifikansi nilai regresi juga dapat dilihat dari signifikansi t hitung. Nilai signifikansi t hitung adalah sebesar 0,131 lebih besar dari α (kemungkinan tingkat kesalahan) yang telah ditentukan yaitu sebesar 5% (0,05) atau dengan kata lain $P\text{-value} > 0,05$. Karena nilai $P\text{-value} > 0,05$ menandakan bahwa variabel proporsi

bangunan tidak berpengaruh terhadap nilai reduksi SO₂ udara ambien.

Pada variabel proporsi luas jalan terhadap nilai reduksi SO₂ (KSO₂) menghasilkan korelasi sebesar 0,30 yang menandakan bahwa antara proporsi luas jalan terhadap nilai reduksi SO₂ berkorelasi. Kemudian dilakukan uji signifikansi seperti variabel sebelumnya apakah korelasi tersebut bermakna atau tidak. Tabel 4.10 menyajikan tabel korelasi antara proporsi luas bangunan terhadap KSO₂.

Tabel 4.11 Korelasi Proporsi Jalan Terhadap KSO₂

	<i>Jalan</i>	<i>KSO₂</i>
Jalan	1	
KSO ₂	0,300605	1

Korelasi antara proporsi RTH terhadap nilai reduksi SO₂ menghasilkan korelasi bernilai positif (+) yang berarti bahwa semakin besar proporsi jalan maka akan memberikan nilai KSO₂ yang semakin besar. Tabel 4.12 menyajikan uji signifikansi hubungan proporsi jalan terhadap nilai reduksi SO₂.

Tabel 4.12 Uji Signifikansi Proporsi Jalan Terhadap KSO₂

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,300605
R Square	0,090363
Adjusted R Square	-0,02334
Standard Error	12,4907
Observations	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	123,990	123,9901	0,794719	0,398695232

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Residual	8	1248,140	156,0175		
Total	9	1372,130			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-25,54040436	28,38815621	-0,89969	0,394562	-91,00360997	39,92280125
Jalan	1,397923114	1,568109976	0,89147	0,398695	-2,218144976	5,013991204

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa korelasi proporsi jalan terhadap KSO₂ menghasilkan nilai t hitung sebesar 0,891. Nilai t tabel untuk df = 1 (10-1=9) adalah sebesar 2,262. Jika dibandingkan dengan t hitung yaitu sebesar 0,891 yang berarti bahwa t hitung < t tabel sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh proporsi bangunan terhadap KSO₂ adalah tidak signifikan (bermakna). Selain membandingkan antara t hitung dan t tabel, signifikansi nilai regresi juga dapat dilihat dari signifikansi t hitung. Nilai signifikansi t hitung adalah sebesar 0,398 lebih besar dari α (kemungkinan tingkat kesalahan) yang telah ditentukan yaitu sebesar 5% (0,05) atau dengan kata lain P-value > 0,05. Karena nilai P-value > 0,05 menandakan bahwa variabel proporsi luas jalan tidak berpengaruh terhadap nilai reduksi SO₂ udara ambien.

Variabel proporsi jalan ini menunjukkan tidak signifikan (tidak bermakna) yang dapat dijelaskan bahwa luasan jalan tidak berpengaruh terhadap nilai KSO₂ yang dapat berpengaruh adalah aktivitas kendaraan bermotor di jalan tersebut. Namun karena penelitian ini melihat proporsi area maka proporsi jalan tidak berpengaruh terhadap KSO₂.

4.7 Pengaruh Ruang Terbuka Hijau (RTH) Terhadap Nilai KSO₂

Persamaan yang dihasilkan yaitu $Y = -4,822x + 106,72$ menunjukkan bahwa RTH sebagai reduktor SO₂ berkorelasi negatif dan signifikan terhadap KSO₂. Persamaan tersebut dapat berlaku dengan beberapa kriteria seperti :

- a. Konsentrasi SO₂ udara ambien berada pada rentang 1,73 – 76,89 ug/m³.
- b. Temperatur udara pada rentang 21,67 – 37,3 °C.
- c. Kecepatan angin berada pada rentang 0,01 – 4,96 m/s.
- d. Kelembaban udara berada pada rentang 17,91 % - 97,11 %.

Ruang terbuka hijau (RTH) berkorelasi negatif terhadap KSO₂ yang bermakna bahwa saat proporsi RTH meningkat maka KSO₂ akan menurun. Hasil analisis ini mendukung penelitian dari bidang ilmu Kehutanan yang menetapkan bahwa tanaman mampu mereduksi SO₂ udara ambien (Legge dan Krupa, 2002 ; Nowak, 2006 ; Currie dan Bass, 2008 ; Jim dan Chen, 2008 ; Yang *et al.*, 2008). Semakin besar proporsi tutupan kanopi pohon, ada kecenderungan konsentrasi SO₂ udara ambien semakin kecil. Ruang terbuka hijau (RTH) berpengaruh dalam mereduksi SO₂ juga mendukung hasil penelitian Yang *et al.*, 2005 yang mengatakan bahwa pohon mampu mereduksi SO₂ melalui cara reduksi langsung karena SO₂ terserap melalui stomata daun kemudian bereaksi dalam bagian dinding sel daun membentuk *sulfurous* dan *sulfuric acid*. Asam ini akan bereaksi dengan komponen makanan lain dan diantarkan pada bagian tanaman lainnya.

Jumlah polutan yang terlepas pada lingkungan dapat dikurangi dengan adanya vegetasi. Berikut merupakan mekanisme tanaman dalam mereduksi polutan yang dijelaskan oleh Nowak *et al.*, (2006), yaitu :

- e. Difusi, pemencaran polutan ke atmosfer yang lebih luas. Tajuk pohon yang tinggi dapat membelokkan hembusan angin ke atmosfer yang lebih luas, sehingga konsentrasi polutan menurun.
- f. Absorpsi, penyerapan polutan gas melalui stomata dimana polutan gas masuk pada jaringan daun.
- g. Adsorpsi, penjerapan polutan partikel oleh permukaan daun, batang dan ranting yang menjerap partikel debu dan logam yang terkandung dalam udara.
- h. Deposisi partikel besar oleh daun dan bagian tanaman lainnya.

Semakin banyak tanaman menyebabkan semakin banyak SO₂ udara ambien yang akan terserap oleh tanaman, sehingga

konsentrasi SO_2 udara ambien akan semakin kecil. Hal ini menyebabkan laju konsentrasi SO_2 selama 24 jam atau nilai KSO_2 semakin kecil. Dengan nilai KSO_2 yang semakin kecil, maka reduksi SO_2 udara ambien akan semakin besar.

Pada variabel non-RTH terlihat hasil yang tidak signifikan, yang bermakna bahwa variabel non-RTH tidak menyebabkan penurunan konsentrasi SO_2 . Atau dengan kata lain, variabel non-RTH tidak membantu dalam proses reduksi SO_2 udara ambien.

Penelitian ini menunjukkan bahwa RTH memberikan sebesar 41,1% variasi SO_2 yang dapat dijelaskan oleh proporsi RTH dan sisanya yaitu 58,9 % variasi SO_2 dijelaskan oleh faktor lain. Faktor lain tersebut dapat berupa kecepatan angin, kelembaban udara, temperatur udara, curah hujan dan intensitas matahari.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pada siang hari rata-rata konsentrasi SO₂ sebesar sebesar 8,11 µg/m³ dan rata-rata pada saat malam hari adalah sebesar 6,5 µg/m³.

Konsentrasi rata-rata SO₂ terlihat lebih tinggi saat musim kering yaitu sebesar 8,60 µg/m³, sedangkan konsentrasi SO₂ rata-rata lebih rendah saat musim hujan yaitu sebesar 5,39 µg/m³.

Konsentrasi SO₂ udara ambien dipengaruhi oleh faktor meteorologi yaitu kecepatan angin, temperatur udara dan kelembaban udara.

2. Ruang terbuka hijau (RTH) memiliki kemampuan dalam mereduksi SO₂ udara ambien. Proporsi RTH yang semakin besar akan menyebabkan penurunan nilai konsentrasi SO₂ udara ambien. Uji korelasi dan uji regresi proporsi RTH terhadap KSO₂ menghasilkan persamaan $Y = -4,822x + 106,72$ dengan nilai R-square sebesar 41,1%.

5.2 Saran

1. Posisi stasiun pemantau kualitas udara (SPKU) sebaiknya lebih didekatkan pada jalan tol agar kualitas udara yang terekam jangkauannya sampai pada jalan raya.
2. Posisi sensor pengambil sampel udara sebaiknya lebih tinggi, agar kecepatan angin yang terpantau lebih besar sehingga jangkauan *box* lebih luas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, H., Shahri, S. M., Henderson., S. B., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Yunesian, M. (2014). *Land Use Regression Models to Estimate the Annual and Seasonal Spatial Variability of Sulfur Dioxide and Particulate Matter in Tehran, Iran*. Journal Science of the Total Environment, 488-489, hal. 343-353.
- Anthika., Syech, R., Sugianto. 2012. *Pengaruh Suhu, Kelembaban Udara dan Kecepatan Angin Terhadap Akumulasi Nitrogen Monoksida dan Nitrogen Dioksida*. Jurnal Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau, hal. 516-523.
- Arlts, G. 2008. *Urban Green Volume – a Quality Indikator, Con Account Urban Metabolism : Measuring the Ecological City*. Leibniz Institut
- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta. 2013. *Zat – zat Pencemar Udara*. www.lh.jakarta.go.id (diunduh 14 Oktober 2016).
- Bamahry, C. F. 2012. *Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Besarnya Konsentrasi SO₂ (Studi Kasus Gerbang Tol Pasteur Bandung)*. Bandung : Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan ITB.
- Budiyono, A. 2001. *Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. Peneliti Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara*. Berita Dirgantara, 2 (1), hal. 21-27.
- Carrus, G., Scopelliti, M., Laforzezza, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., Agrimi, M., Portoghesi, L., Semenzato, P., Sanesi, G. 2015. *Go Greener, Feel Better? The Positive Effects of Biodiversity on the well-being of Individuals Visiting Urban and Peri-urban Green Areas*. Landscape and Urban Plan Journal, 15, hal. 21-27.
- Chapra, S.C. dan Canale, R.P. 1985. *Numerical Methods for Engineers : with Software and Programming Application*. Mc Graw-Hill. Boston.
- Chaturvedi, A. R., Kamble, N. G., Patil, C. 2013. *City-Forest Relationship in Nagpur : One of the Greenest Cities of India*. Urban Forestry and Urban Greening Journal, 12, hal. 79-87.
- Chavanagh, J., Zawar-Reza, P., Wilson, J. 2009. *Spatial Attenuation of Ambient Particulate Matter Air Pollution Within*

- an Urbanised Native Forest Patch*. Urban Forestry and Urban Greening Journal, 8, hal. 21-30.
- Chiesura, A. 2004. *The Role of Urban Parks for the Sustainable City*. Landscape and Urban Plan Journal, 68 (1), hal. 129–138.
- Currie, B. A. dan Bass, B. 2008. *Estimates of Air Pollution Mitigation With Green Plants and Green Roofs Using the UFORE Model*. Urban Ecosystem Journal, 11, hal. 409-422.
- Dahlan, E. N. 2004. *Membangun Kota Kebun (Garden City) Bernuansa Hutan Kota*. IPB Press.
- Dobbs, C., Kendal, D., Nitschke, C. R. 2014. *Multiple Ecosystem Services and Disservices of the Urban Forest Establishing Their Connections with Landscape Structure and Socio Demographics*. Ecol. Indic Journal, 43, hal. 44–55.
- Dwivedi, A. K., Tripathi, B. D., Shashi. 2008. *Effect of Ambient Air Sulphur Dioxide on Sulphate Accumulation in Plants*. Journal of Environmental Biology Gorakhpur University, 29 (3), hal. 377-379.
- Eichert, T. dan Fernandez, V. 2012. *Uptake and Release of Elements by Leaves and Other Aerial Plant Parts*. Marschner's Mineral Nutr. High. Plants, 3, hal. 71-84.
- Endes dan Dahlan 2014. *Identifikasi Kemampuan Pohon dalam Menyerap Gas SOx*. Institut Pertanian Bogor.
- Escobedo, F.J. dan Nowak, D. 2009. *Spatial Heterogeneity and Air Pollution Removal by an Urban Forest*. Landscape and Urban Planning Journal, 90, hal. 102-110.
- EPA (*Environmental Protection Agency*). 2013. Sulfur Dioxide, Basic Information, <https://www.epa.gov/Sulfurdioxide/basic.html> (diunduh pada 16 Oktober 2016).
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius
- Gusnita, D. 2016. *Karakteristik Temporal Pencemar Udara Ambien di Kota Surabaya*. Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia, 1 (3), hal. 174-179.
- Hankey, S., Marshall, J.D., Brauer, M. 2012 . *Health Impacts of the Built Environment: within-urban variability in physical inactivity, air pollution, and ischemic heart disease mortality*. Environmental Health Perspect Jornal, 120, hal. 247.

- Haq, Z. U., Tariq, S., Ali, M. 2015. *Tropospheric NO₂ Trends Over South Asia During the Last Decade (2004-2014) Using OMI Data*. Meteorol, hal. 1-18.
- Hu, Y., Zhao, P., Niu, J., Sun, Z., Zhu, L., Ni, G. 2016. *Canopy Stomatal Uptake of NO_x, SO₂ and O₃ by Mature Urban Plantations Based on Sap Flow Measurement*. Atmospheric Environment Journal, 125, hal. 165-177.
- Irwan, Z.D.2007. *Fungsi Taman Hutan Kota*. Science. <http://researchegines.com/html>. (diakses 10 April 2017).
- Istantinova, D.B., Hadiwidodo, M., Handayani, D.S. 2012. *Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembaban dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) dalam Udara Ambien di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang*. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Istirokhatun, T., Agustini, I.T., Sudarno. 2016. *Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas Dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar SO₂ Di Kota Semarang*. Jurnal Presipitasi, 13 (1), hal. 21-27.
- Jacobson, M.Z. 2002. *Fundamental of Atmospheric Modelling*. 2nd. Cambridge University Press. Cambridge.
- Jim, C.Y. dan Chen, W.Y. 2008. *Assessing The Ecosystem Service of Air Pollutant Removal by Urban Trees in Guangzhou (China)*. Journal of Environmental Management, 88, hal. 665-676.
- Karteris, M., Theodoridou, I., Mallinis G., Tsiros E., Karteris A. 2016. *Towards a Green Sustainable Strategy for Mediterranean Cities : Assessing the Benefits of Large-Scale Green Roofs Implementation in the Thessaloniki, Northern Greece, Using Environmental Modelling, GIS and Very High Spatial Resolution Remote Sensing Data*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, hal. 510-525.
- Kastiyawati, I. 2001. *Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara*. Jakarta : Staff Puslitbang Tek Balitbang Dephan.
- Koukoulis, M.E., Balis, D.S., Ronald J.V.D., Theys, N., Hedelt, A.R., Krotkov, N., Taylor, M. 2016. *Anthropogenic Sulphur Dioxide Load Over China as Observed from Different Satellite Sensors*. Atmospheric Environment Journal, 145, hal. 45-59.

- Krzyzanowski, J. 2012. *Environmental Pathways of Potential Impacts to Human Health from Oil and Gas Development in Northeast British Columbia, Canada*. Environ. Rev, 20, hal. 122-134.
- Kurniawan, D. 2008. *Regresi Linier*. A Language and Environment For Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Larondelle, N., Haase, D., Kabisch, N. 2014. *Mapping the Diversity of Regulating Ecosystem Services in European Cities*. *Global Environ.Change*, 26, hal.119–129.
- Lee, A.C.K. dan Maheswaran, R. 2011. *The Health Benefits of Urban Green Spaces: Are View of the Evidence*. J. Public Health, 33 (2), hal. 212–222.
- Legge, A.H. dan Krupa, S.V. 2002. *Effects of Sulphur Dioxide*. In : *Bell, J.N.B. Treshow, M. (Eds)*. Air Pollution and Plant Life. Secod ed. Wiley. Chichester, hal. 135-162.
- Li, Xiao-bing., Lu, Qing-Chang., Lu, Si-Jia., He, Hong-di., Peng, Zhong-Ren., Gao, Y., Wang, Zhan-Yong. 2016. *The Impacts of Roadside Vegetation Barriers on the Dispersion of Gaseous Traffic Pollution in Urban Street Canyons*. *Urban Forestry & Urban Greening Journal*,17, hal. 80-91.
- Lu, Z., Zhang, Q., Streets, D.G. 2011. *Sulfur Dioxide and Primary Carbonaceous Aerosol Emissions in China and India, 1996-2010*. *Atmos.Chem.Phys*, 11 (18), hal. 9839-9864.
- Mangkoediharjo, S. dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Marselle, M. R., Irvine, K. N., Lorenzo Arribas, A., Warber, S. L. 2015. *Moving Beyond Green: Exploring the Relationship of Environment Type and Indicators of Perceived Environmental Quality on Emotional well-being Following Group Walks*.*Int.J.Environ.Res. Public Health*, 12 (1), hal. 106–130.
- Mathew, J., Goyal, R., Taneja, K.K., Arora, N. 2015. *Air Pollution and Respiratory Health of School Children in Industrial, Commercial and Residential Areas of Delhi* *Air Quality*. *Atmos. Health*, 8, hal. 421-427.
- Muzayanah. 2016. *Model Ruang Terbuka Hijau Untuk Reduksi PM10 (Particulate Matter 10) Udara Ambien*. Disertasi. FTP Universitas Brawijaya : Malang.
- Muzayanah., Ariffin., Sudarto.,Yanuwiadi, B.2016. *Effects of The Green Space Proportion with Cumulative Concentration of*

- Particulate Matter 10 (PM10) in Surabaya- Indonesia.* International Journal of Chem Tech Research, 9 (4), hal. 431-436.
- Nevers, N. 2000. *Air Pollution Control Engineering.* Mc Graw Hill Book co.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. 2006. *Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States.* Urban Forestry and Urban Greening, 4, hal. 115-123.
- Okoroafor, U. 2014. *Influence of Meteorological Factors on Vehicular Emissions During Wet Season in South- South Nigeria.* Arch. Appl. Sci Journal, 6 (4), hal. 162-164.
- Pemerintah Jawa Timur. 2010. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Sumber Tidak Bergerak.* Jawa Timur
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008. 2008. *Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan*
http://www.bkprn.org/peraturan/the_file/permen05-2008.pdf
(diunduh pada 18 November 2016).
- Prasanna, G. N., Deshpande, U. K., Gawaid, U. 2005. *Effect of Sulphur Dioxide on Protein and Carbohydrate Contents of Some Macrophytes.* Pollut. Res. Journal, 24, hal. 427-430.
- Purwanti, D. 2008. *Pengaruh Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Terhadap Struktur Epidermis dan Stomata Daun Tanaman Pelindung di Jln. Adi Sucipto Sampai Terminal di Surakarta.* Surakarta : Jurusan Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah.
- Ramadhan, A dan Iwan, K. 2012. *Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Fungsi Ekologis Sebagai Penghasil Oksigen dan Kawasan Resapan Air Sesuai Tipologi Kota (Studi Kasus: Kota Bandung, Kota Bogor, dan Kota Cirebon).* Bandung: Jurnal Perencanaan Wilayah Perencanaan Wilayah dan Kota A SAPPK, 1(2), hal. 8-12.
- Ren, X., Sun, R., Meng, X., Vorobiev, N., Martin, S. 2016. *Carbon, Sulfur and Nitrogen Oxide Emissions From Combustion of Pulverized Raw and Torrefied Biomass.* Fuel, 188, hal. 310-323.
- Rencher, A. C. 2002. *Methods of Multivariate Analysis.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- Rokni, E., Panahi, A., Ren, X., Levendis, Y.A. 2016. *Curtailing the Generation of Sulfur Dioxide and Nitrogen Oxide Emissions by Blending and Oxy-combustion of Coals*. Fuel, 181, hal. 772-784.
- Santoso, I.B., Mangkoedihardjo, S. 2012. *Time Series of Carbon Dioxide Concentration in the Ambient Air to Determine Greenspace Area*. International Journal of Academic Reasearch Part A, 4 (6), hal. 224-229.
- Schnelle, K. B., Dey, P. R. 2000. *Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide*. US : Mc Graw-Hill Companies, Inc.
- Schwela D. 2011. *Air Pollution and Health in Urban Areas*. Rev Environ Health, 15, hal.13–42.
- Selmi, W., Weber C., Riviere, E., Blond, N., Mehdi L., Nowak, D. 2016. *Air Pollution Removal by Trees in Public Green Spaces in Strasbourg City, France*. Urban Forestry & Urban Greening Journal, 17, hal. 192-201.
- Shan, Y., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., Wang, W. 2011. *Quantifying Air Pollution Attenuation Within Urban Parks : An Experimental Approach in Shanghai, China*. Environmental Pollution Journal,159, hal. 2155-2163.
- Sheryl, M.S. 2002. *Pengaruh Suhu Udara, Curah Hujan, Kelembaban Udara dan Kecepatan Angin Terhadap Fluktuasi Konsentrasi NO₂, O₃, dan SO₂ di Area PLTP Gunung Salak Sukabumi*. Skripsi, Bogor : Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB.
- Silvius, J. E., Baer, C. H., Dodrill, S., Patrick, H. 1976. *Photoreduction of Sulfur Dioxide by Spinach Leaves and Isolated Spinach Chloroplasts*. Journal of Plant Physiol, 57, hal. 799-801.
- Sinha, A. dan Battacharya, J. 2016. *Estimation of Environmental Kuznets Curve for SO₂ Emission : A Case of Indian Cities*. Ecological Indicators, 72, hal. 881-894.
- Soemarwoto,O. 1992. *Indonesia dalam Kancah Isu Lingkungan Global*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Soenarno, S.H. 1999. *Diklat Kuliah Meteorologi Pencemaran Udara*. Bandung : ITB.
- Surratt, J.D., Lewandowski, M., Offenbergl, J.H., Jaoui, M., Kleindienst, T.E., Edney, E.O., Seinfeld, J.H. 2007. *Effect of*

- Acidity on Secondary Organic Aerosol Formation From Isoprene*. Environ. Sci. Technol, 41 (15), hal. 5363-5369.
- Tallis, H. dan Polasky, S. 2011. *Mapping and Valuing Ecosystem Services as an Approach for Conservation and Natural Resources Management. The Year in Ecology and Conservation Biology : Annals of the New York Academy of Science*, 1162, hal. 265-283
- Ukpebor, E.E., Justina, E.U., Eromomene, F., Odiase, J.L., Okoro, Duke. 2010. *Spatial and Diurnal Variations of Carbon Monoxide (CO) Pollution from Motor Vehicles in an Urban Centre*. Polish J. Environ. Stud, 19, hal. 817-823.
- Wall, T., Liu, Y., Spero, C., Elliott, L., Khare, S., Rathnam, R. 2009. *An Overview on Oxyfuel Coal Combustion—State of the Art Research and Technology Development*. Chem Eng Res Des, 87, hal.1003–1006.
- Wardhana, W. A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Wark dan Warner. 2007. *Analysis of Air Pollutants*. John Wiley and Sons. USA
- Weinstock, B. dan Niki, H. 2012. *Carbon Monoxide Balance in Nature*. Health Science,176 (4032), hal. 290-292.
- WHO (World Health Organization).2013.*Health Effect of Sulfur Dioxide. Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Causes and Central Asia*. WHO Press. Diakses tanggal 16 Oktober 2016
- Widjajanti, W.W.2010. *Keberadaan dan Optimasi Ruang Terbuka Hijau Bagi Kehidupan Kota*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., Sun, Z. 2005. *The Urban Forest in Beijing and Its Role in Air Pollution Reduction*. Urban Forestry & Urban Greening Journal, 3, hal. 65-78.
- Yang, J., Yu, Q., Gong, P. 2008. *Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Atmospheric Environment*. Building and Environment Journal, 42, hal. 7266-7273.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1
ANALISIS KORELASI FAKTOR METEOROLOGI TERHADAP
KONSENTRASI SO₂

Tabel 1. Analisis Korelasi Pengaruh Suhu Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien.

	<i>Suhu</i>	<i>Konsentrasi</i>
Suhu	1	
Konsentrasi	-0,48435	1

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,484353
R Square	0,234597
Adjusted R Square	0,217588
Standard Error	1,766621
Observations	47

ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	43,0459516	43,04595	13,79259	0,000561054	
Residual	45	140,44267	3,120948			
Total	46	183,488621				
	<i>Coefficient</i>	<i>standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	16,39596	2,46187091	6,659957	3,26E-08	11,43749305	21,35441814
suhu	-0,31766	0,08553338	-3,71384	0,000561	-0,489930117	-0,145383984

Tabel 2. Analisis Korelasi Pengaruh Kelembaban Udara Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien.

	<i>Kelembaban</i>	<i>Konsentrasi</i>
kelembaban	1	
Konsentrasi	0,47326593	1

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,47326593
R Square	0,22398064
Adjusted R Square	0,20673577
Standard Error	1,77883059
Observations	47

ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>gnificance F</i>	
Regressio	1	41,0978997	41,0979	12,98824	0,00078	
Residual	45	142,390722	3,164238			
Total	46	183,488621				
	<i>Coefficients</i>	<i>tandard Erro</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	2,91544414	1,24483446	2,342034	0,023664	0,408219	5,422669
78,67	0,06578353	0,01825332	3,603921	0,00078	0,029019	0,102548

Tabel 3. Analisis Korelasi Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi SO₂ Udara Ambien.

	<i>Angin</i>	<i>Konsentrasi</i>
Angin	1	
Konsentrasi	-0,61814	1

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,609387
R Square	0,371352
Adjusted R Square	0,357686
Standard Error	1,585215
Observations	48

ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	68,2830628	68,28306	27,17296	4,29017E-06	
Residual	46	115,5936351	2,512905			
Total	47	183,8766979				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	10,52869147	0,662054239	15,90306	2,56E-20	9,196045409	11,86134
angin (x)	-2,09893587	0,402652795	-5,21277	4,29E-06	-2,90943391	-1,28844

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

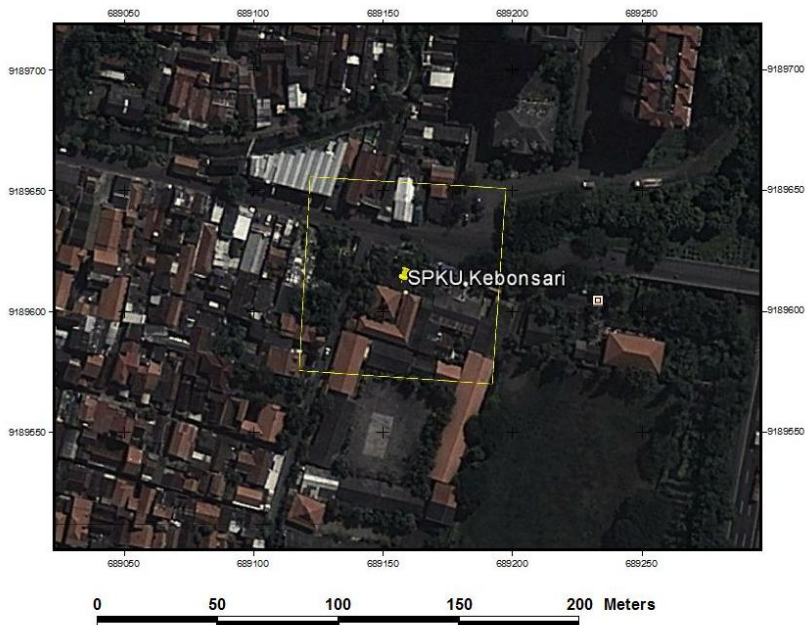
LAMPIRAN 2
PERHITUNGAN DIMENSI DAN ARAH BOX

Tabel 1. Cara menghitung unit pengukuran menggunakan data tanggal 11 September 2013.

Data Angin		
Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah Angin (°)
00:00	1,24	286,51
00:30	1,29	285,88
01:00	1,13	292,40
01:30	0,81	280,09
02:00	0,70	291,63
02:30	0,18	232,33
03:00	0,20	261,98
03:30	0,08	194,95
04:00	0,38	202,24
04:30	0,03	30,66
05:00	0,76	340,62
05:30	0,64	321,08
06:00	0,69	330,72
06:30	1,19	333,43
07:00	1,20	339,17
07:30	1,06	304,69
08:00	0,35	305,04
08:30	0,63	97,22
09:00	0,67	91,70
09:30	0,86	130,34
10:00	1,40	128,64
10:30	1,70	113,47
11:00	2,46	112,92
11:30	2,26	119,63
12:00	2,13	92,35
12:30	2,45	103,80
13:00	2,76	106,18
13:30	2,33	97,82
14:00	2,07	85,56

Data Angin		
Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah Angin (°)
14:30	1,71	74,24
15:00	1,65	77,63
15:30	1,63	75,90
16:00	1,28	82,36
16:30	2,06	100,56
17:00	2,55	111,11
17:30	2,28	102,08
18:00	2,28	110,37
18:30	2,55	109,75
19:00	2,64	121,27
19:30	2,25	118,82
20:00	1,73	120,71
20:30	1,31	124,81
21:00	0,52	147,53
21:30	0,75	122,85
22:00	0,38	128,03
22:30	0,74	201,37
23:00	1,16	273,62
23:30	1,11	239,98
24:00	1,05	278,59
Kecepatan angin rata-rata (m/s)		1,33
Arah angin rata-rata (°)		176,22

Ukuran Box		
Waktu pengambilan sampel SO ₂ (Δt)	60	s
Kecepatan angin rata-rata	1,33	m/s
Panjang sisi box = $V \times \Delta t$	80	m
Luas box	6386	m ²
Arah box	176,22	°



Gambar 1. Unit Pengukuran citra tanggal 11 September 2013

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3
PERHITUNGAN KUMULATIF KONSENTRASI SO₂ (KSO₂)

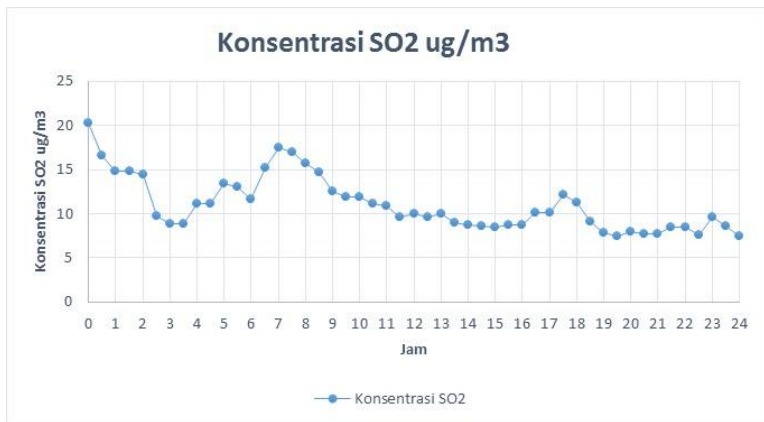
Tabel 1. Contoh cara menghitung nilai reduksi KSO₂ tanggal 11 September 2013

Waktu	Konsentrasi SO ₂	t	ΔC (Ct-C0)	Δt (t-t0)	$\Delta C/\Delta t$
00:00	20,22	0	0,00	0	0
00:30	16,61	30	-3,61	30	-0,1202
01:00	14,82	60	-5,40	60	-0,0900
01:30	14,80	90	-5,42	90	-0,0602
02:00	14,40	120	-5,82	120	-0,0485
02:30	9,80	150	-10,42	150	-0,0695
03:00	8,83	180	-11,39	180	-0,0633
03:30	8,89	210	-11,33	210	-0,0539
04:00	11,20	240	-9,02	240	-0,0376
04:30	11,16	270	-9,06	270	-0,0336
05:00	13,36	300	-6,86	300	-0,0229
05:30	13,02	330	-7,20	330	-0,0218
06:00	11,66	360	-8,56	360	-0,0238
06:30	15,19	390	-5,03	390	-0,0129
07:00	17,42	420	-2,80	420	-0,0067
07:30	16,92	450	-3,30	450	-0,0073
08:00	15,66	480	-4,56	480	-0,0095
08:30	14,64	510	-5,58	510	-0,0109
09:00	12,51	540	-7,71	540	-0,0143
09:30	11,96	570	-8,26	570	-0,0145
10:00	11,91	600	-8,31	600	-0,0139
10:30	11,13	630	-9,10	630	-0,0144
11:00	10,93	660	-9,29	660	-0,0141
11:30	9,57	690	-10,65	690	-0,0154
12:00	9,98	720	-10,24	720	-0,0142
12:30	9,68	750	-10,54	750	-0,0141
13:00	10,00	780	-10,22	780	-0,0131
13:30	8,99	810	-11,23	810	-0,0139
14:00	8,69	840	-11,53	840	-0,0137

Waktu	Konsentrasi SO ₂	t	ΔC (Ct-C0)	Δt (t-t0)	$\Delta C/\Delta t$
14:30	8,62	870	-11,60	870	-0,0133
15:00	8,51	900	-11,71	900	-0,0130
15:30	8,70	930	-11,52	930	-0,0124
16:00	8,73	960	-11,49	960	-0,0120
16:30	10,16	990	-10,06	990	-0,0102
17:00	10,11	1020	-10,11	1020	-0,0099
17:30	12,10	1050	-8,12	1050	-0,0077
18:00	11,22	1080	-9,00	1080	-0,0083
18:30	9,09	1110	-11,13	1110	-0,0100
19:00	7,87	1140	-12,35	1140	-0,0108
19:30	7,43	1170	-12,79	1170	-0,0109
20:00	7,98	1200	-12,24	1200	-0,0102
20:30	7,73	1230	-12,49	1230	-0,0102
21:00	7,69	1260	-12,53	1260	-0,0099
21:30	8,44	1290	-11,78	1290	-0,0091
22:00	8,45	1320	-11,77	1320	-0,0089
22:30	7,60	1350	-12,62	1350	-0,0093
23:00	9,68	1380	-10,54	1380	-0,0076
23:30	8,56	1410	-11,66	1410	-0,0083
24:00	8,64	1440	-11,58	1440	-0,0080

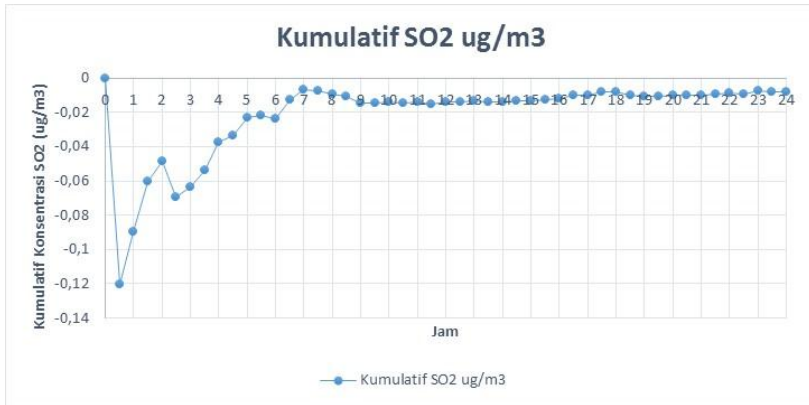
(SO ₂) Rata-rata	11,05				
				Δt	30
				$f(t_0)$	0
				$f(t_n)$	-8,0E-03
				$\sum_{i=n}^{n-1} f(c_i)$	-1,0483
				$\Delta t/2$	15
				$2 \times \sum 1 \text{ sp } n$	-2,0967
				$f(t_0)+f(t_n)+2 \times \sum 1 \text{ sp } n$	-2,1047
				KSO₂	-31,571

Konsentrasi SO₂ selama 24 jam disajikan dalam Gambar 1 berikut



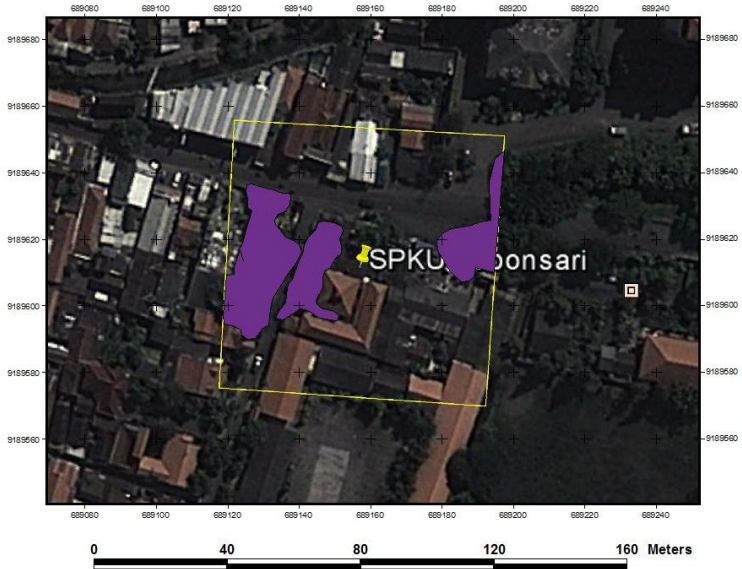
Gambar 1. Grafik Konsentrasi SO₂

Grafik Laju Konsentrasi SO₂ disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2. Laju Konsentrasi SO₂ selama 24 Jam

LAMPIRAN 4 DELINEASI LAHAN RTH DAN NON-RTH



Gambar 1. Delineasi Unit Pengukuran

Tabel 1. Tabel Hasil Delineasi Unit Pengukuran

Panjang sisi box (m)	80
Luas box (m ²)	6386
Kemiringan box (°)	176,22
Koordinat titik pusat (x)	689157
Koordinat titik pusat (y)	9189612
KSO ₂ (ug/m ³)	-31,571
SO ₂ rata-rata (ug/m ³)	11,05
RTH (%luas)	22,46
Non-RTH (%)	
Bangunan (%luas)	56,51
Jalan (%luas)	21,03

LAMPIRAN 5

BIOGRAFI PENULIS



Gusti Ayu Khrisna Saraswati Maharini dilahirkan di Kota Tabanan, Bali pada tanggal 17 Oktober 1995. Penulis adalah anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Bareleng Batam, SD Eppata Batam, SMP N 3 Selemadeg Timur Tabanan Bali dan SMAN 1 Tabanan Bali. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSP Institut

Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah aktif sebagai anggota organisasi mahasiswa Hindu ITS yaitu Tim Pembina Kerohanian Hindu (TPKH-ITS) sebagai staff Departemen Seni pada tahun 2014-2015 dan sebagai Wakil Kepala Departemen Seni TPKH-ITS tahun 2015-2016. Penulis juga sempat aktif dalam kegiatan beasiswa mahasiswa oleh BCA yaitu Beasiswa Bhakti BCA periode 2015-2016. Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Remediasi Lingkungan pada tahun 2017. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan seminar yang diselenggarakan di Jurusan, Institut, Regional dan Nasional. Pada tahun 2016 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Krakatau Steel Cilegon, Banten dibagian pemantauan kualitas udara ambien. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka dapat menghubungi penulis melalui email ayukhrisna17@gmail.com.