

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Besarnya jumlah penduduk dalam suatu kawasan dapat berperan sebagai awal dari munculnya masalah lingkungan. Masalah jumlah penduduk tidak sekedar pemenuhan kebutuhan pangan dan papan. Dewasa ini terjadi peningkatan kuantitas dan ragam kebutuhan (Miller, 2007). Semakin banyak jumlah penduduk serta semakin berkembangnya ragam kebutuhan yang harus dipenuhi menyebabkan konsumsi energi meningkat. Sebagian besar sumber energi yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil (Lotfalipour *et. al.*, 2010). Kebutuhan sandang, perabotan dan sarana lainnya dapat dipenuhi oleh produk industri. Industri memerlukan energi untuk menghasilkan produk. Pertumbuhan jumlah penduduk suatu kota menuntut perkembangan hunian baru di kawasan pinggiran. Jarak hunian dengan tempat kegiatan menyebabkan terjadinya mobilitas penduduk dari suatu kawasan ke kawasan lain. Pergerakan penduduk dari kawasan hunian ke pusat kegiatan di pusat kota maupun kawasan industri di pinggiran kota menyebabkan penambahan konsumsi bahan bakar, kemacetan dan pencemaran udara.

Industrialisasi, urbanisasi dan transportasi menjadi beban lingkungan dan bila tidak dikelola sesuai dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan menjadi bencana bagi kehidupan (Miller, 2007). Aktifitas kota memberi kontribusi besar terhadap polusi udara. Wilayah kota hanya berkisar 3% dari luas daratan tapi ditempati oleh 50% populasi manusia. Laju urbanisasi dan industrialisasi di negara-negara berkembang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi, disisi lain pertumbuhan

industri menyebabkan peningkatan konsumsi energi, emisi polutan dan pencemaran lingkungan (Dulal *and* Akbar 2012; Dulal *et. al.*, 2011; Huber, 2008). Dewasa ini hampir semua kebutuhan energi diperoleh dari konversi sumber energi fosil. Selain menghasilkan energi, pembakaran sumber energi fosil juga melepaskan gas-gas polutan, antara lain karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂) dan partikulat yang menyebabkan pencemaran udara (Manahan, 2000; Miller, 2007).

Pencemaran udara dan hujan asam merupakan masalah lingkungan serius (Larsen *et al.*, 1999). Pencemaran udara disebabkan oleh masuknya bahan pencemar ke atmosfer merupakan dampak dari pembangunan ekonomi (Chernichan, 2012). Setiap negara berupaya meningkatkan pertumbuhan ekonomi melalui investasi dan industrialisasi. Pertumbuhan industri sebesar 1% mengakibatkan peningkatan emisi polutan total sebesar 11,8% (Cherniwchan, 2012). Emisi polutan di Asia bertambah dengan cepat seiring dengan pertumbuhan ekonomi di kawasan ini. (Chantara, 2012). Konsumsi energi dari bahan bakar fosil di Asia diperkirakan meningkat dua kali lipat dalam dua dekade terakhir. Diperkirakan tahun 2030 konsumsi mencapai 6,3 Btoe (*billions ton oil equivalent*) disebabkan oleh laju urbanisasi, industrialisasi dan pertumbuhan penduduk (Mukherjee and Sovacool, 2012).

Emisi gas NO₂ dan SO₂ ke udara dapat teroksidasi membentuk polutan sekunder berupa asam nitrat (HNO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄). Kedua asam tersebut merupakan asam kuat dan sangat larut dalam air sehingga dapat menyebabkan pH air hujan turun menjadi < 5,6 dan meningkatkan daya hantar listrik (DHL) air hujan. Air hujan yang mengandung asam dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Saat ini telah terjadi peristiwa hujan asam di berbagai Negara dan menimbulkan kerusakan lingkungan. Kerusakan tanaman akibat hujan asam telah terjadi pada hutan di Jerman dikenal sebagai *Germany's Black Forest* (Manahan, 2000),

kerusakan hutan di California Utara (Cunningham, 2004). Hujan asam berdampak pada ukuran kokon ulat sutera menjadi lebih kecil (Prehatin, 2011). Peningkatan keasaman pada badan air (sungai dan danau) menimbulkan efek toksik (keracunan) pada hewan dan tanaman yang hidup di dalamnya terutama ikan. Banyak spesies ikan yang dapat hidup pada $\text{pH} > 5,5$ tetapi hanya sedikit spesies yang mampu bertahan hidup pada pH di bawah ≤ 5 (Tietenberg, 2003). Di Kanada, lebih dari 50% danau-danau di Kanada mempunyai $\text{pH} \leq 5,5$ (Bellehumeur *et.al.*, 2000). Di Italia bagian utara, hujan dengan pH rerata 5,2 menyebabkan penurunan konsentrasi unsur hara sebagai nutrisi tanaman (Bini *et.al.*, 1998). Di Shaoshan China, hujan asam menyebabkan pembilasan (*leaching*) Ca^{2+} , K^{+} dan Cl^{-} pada kanopi hutan (Xiang R., *et.al.*, 2008). Korosi pada bangunan, jaringan listrik, peralatan dan material logam disebabkan karena efek ion Hidrogen $[\text{H}^{+}]$ (Tietenberg, 2003). Pelarutan logam menyebabkan bertambahnya kandungan logam di perairan dan menyebabkan dampak lain akibat pencemaran logam di perairan (Cunningham, 2004; Manahan, 2000)

Di Indonesia, menurut Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup, berdasarkan data tahun 2001-2009 peristiwa hujan asam telah terjadi di beberapa kota yaitu Jakarta, Serpong, Kototabang, Bandung dan Maros. Air hujan pada kota-kota tersebut mempunyai pH 5,40 – 4,30 (www.antaraneews.com). Derajat keasaman (pH) air hujan di Stasiun BMKG Semarang dari Januari 2009 hingga April 2013, air hujan dengan pH 4,37 terjadi pada bulan Nopember 2010 (www.bmkg.go.id). Sebaran pH air hujan di Semarang terjadi secara tidak merata pada setiap wilayah, pH terendah di wilayah sekitar BMKG dan Kali Banteng dengan pH 5,24 dan tertinggi di Mateseh dan Gunung Pati dengan pH 6,02 (Reni, 2011).

Dalam rangka mencegah terjadinya pencemaran udara dan kejadian hujan asam, Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mengendalikan emisi polutan yang dilepaskan ke udara dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak serta menjaga mutu udara. Peraturan-peraturan tersebut adalah: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak, Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 205 tahun 1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara, Peraturan Pemerintah nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 21 tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Pembangkit Listrik Termal, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 13 tahun 2009 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak Dan Gas Bumi, Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor 10 tahun 2000 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak di Provinsi Jawa Tengah, Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor 8 tahun 2001 tentang Baku Mutu Udara Ambien di Provinsi Jawa Tengah.

Pada dasarnya alam mempunyai mekanisme untuk kembali pada keadaan semula (daya lenting) ketika ada polutan yang masuk ke dalamnya dengan mekanisme daur yang disebut sebagai daya tampung lingkungan. Kemampuan tersebut tergantung pada komponen alam yang berfungsi untuk mendekomposisi polutan serta jumlah polutan yang masuk. Terjadinya pencemaran disebabkan karena laju polutan yang masuk ke dalam lingkungan tidak sebanding dengan kemampuan mekanisme daur atau melebihi daya tampung lingkungan (Miller, 2007).

Kota Semarang merupakan ibukota dan pusat pertumbuhan ekonomi di Jawa tengah. RPJMD Kota Semarang tahun 2010 – 2015 menetapkan arah kebijakan Kota Semarang berkembang sebagai kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan. Perkembangan kota dapat memicu terjadinya urbanisasi dan peningkatan jumlah penduduk. Jumlah penduduk pada tahun

2013 sebanyak 1.731.227 jiwa dan tingkat pertumbuhan jumlah penduduk per tahun sebesar 0,96% (BPS Kota Semarang, 2014). Pertambahan jumlah penduduk di kota Semarang berasal dari pertumbuhan alami dari kelahiran dan kematian serta pertambahan penduduk disebabkan karena urbanisasi dengan tujuan untuk pendidikan dan pekerjaan.

Pertumbuhan penduduk Kota Semarang mengakibatkan pengembangan wilayah hunian baru yang semakin jauh dari pusat kota di Kecamatan Tembalang, Banyumanik, Gunungpati, Genuk dan Manyaran. Pengembangan pemukiman yang semakin jauh dari pusat kegiatan di kota menyebabkan peningkatan mobilisasi penduduk dari hunian ke tempat kegiatan untuk pekerjaan, pendidikan maupun pemenuhan kebutuhan lainnya. Peningkatan mobilitas penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan sarana transportasi dan konsumsi bahan bakar. Sarana transportasi di Kota Semarang dalam 2005 – 2013 terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor. Peningkatan kendaraan roda empat baik mobil pribadi, dinas maupun umum sebesar 12,4%, sedangkan kendaraan roda dua sebesar 8,8%. Peningkatan jumlah kendaraan diikuti oleh peningkatan konsumsi bahan bakar untuk kegiatan transportasi rerata dalam lima tahun terakhir sebesar 8 % (BPS Kota Semarang, 2014).

Perkembangan industri di Kota Semarang dari tahun 2005 – 2009 mengalami fluktuasi, pertumbuhan industri tahun 2005 sebesar 13,6%; tahun 2006 sebesar 2,6%; 2007 sebesar 10,6%; 2008 sebesar 5,9% dan 2009 sebesar 0,17% (Pemerintah Kota Semarang, 2010). Pengembangan kawasan industri pada daerah pengembangan terutama di daerah perbatasan. Sebelah selatan: Srandol Kulon. Sebelah timur: Kawasan Industri Terboyo, Muktiharjo, Banjardowo dan Plamongan sari. Sebelah barat: kawasan Industri Tugu, Candi, Tambakaji dan Jatibarang. Pemusatan industri pada satu kawasan dapat menyebabkan penumpukan polutan dan pencemaran.

Berdasarkan uraian di atas, perkembangan Kota Semarang sebagai kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan, meningkatnya sarana transportasi, meningkatnya konsumsi bahan bakar serta telah terindikasi kejadian hujan asam dan kecenderungan pH menurun dalam 4 (empat) tahun terakhir. Perlu diadakan penelitian untuk menganalisis kejadian hujan asam dengan melakukan penelitian terhadap emisi SO_2 dan NO_2 dari kegiatan industri dan transportasi, konsentrasi SO_2 dan NO_2 di udara ambien, pH, SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan, pengaruh SO_2 dan NO_2 dari kegiatan industri dan transportasi terhadap SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan serta mengembangkan model hujan asam agar dapat diketahui sumber emisi dominan penyebab terjadinya hujan asam di wilayah tertentu di Kota Semarang sehingga dapat dilakukan upaya pengendalian dan pencegahan terjadinya hujan asam.

B. Rumusan Masalah

Perkembangan Kota Semarang menjadi kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan merupakan hal positif karena dapat membuka lapangan kerja, meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Perkembangan kota dapat meningkatkan laju urbanisasi sehingga terjadi peningkatan jumlah penduduk, meningkat, mobilitas penduduk meningkat dan industri bertambah. Peningkatan jumlah kendaraan dan konsumsi bahan bakar serta pertumbuhan industri menyebabkan meningkatnya emisi polutan dan meningkatkan beban lingkungan yang dapat menyebabkan pencemaran udara dan terjadinya hujan asam.

Untuk mencegah terjadinya hujan asam dan kerusakan lingkungan akibat hujan asam diperlukan upaya pengendalian dengan melakukan analisis terhadap karakteristik sumber emisi, karakteristik air hujan dan sebaran hujan asam yang terjadi di Kota Semarang. Hasil analisis

dapat digunakan melihat secara seksama faktor-faktor penyebab terjadinya kandungan asam dalam air hujan dan sumber-sumber emisi polutan pembentuk asam tersebut. Penelitian tingkat keasaman air hujan, sebaran dan faktor yang dapat mempengaruhinya sangat diperlukan guna mencegah terjadinya kerusakan lingkungan sebagai dampak terjadinya hujan asam.

Masalah penelitian ini adalah bagaimana mencegah terjadinya pencemaran SO_2 dan NO_2 di udara dan mencegah terjadinya hujan asam di Kota Semarang sehubungan dengan industrialisasi dan perkembangan Kota Semarang melalui identifikasi sumber-sumber emisi SO_2 dan NO_2 , pengaruhnya terhadap SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan dan mengembang model hujan asam.

Berdasarkan permasalahan di atas dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut ini.

- a. Bagaimana pola sebaran NO_2 dan SO_2 di Semarang dari aktifitas industri dan transportasi?
- b. Bagaimana pH, DHL, SO_4^{2-} dan NO_3^- air hujan di Kota Semarang?
- c. Bagaimana pengaruh NO_2 dan SO_2 dari aktifitas industri dan transportasi terhadap SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan?
- d. Bagaimana model sebaran SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Kota Semarang?

Penelitian ini perlu dilakukan dalam upaya mengurangi dampak perkembangan industri dan transportasi Kota Semarang terhadap pencemaran SO_2 dan NO_2 melalui identifikasi dan penilaian sumber-sumber emisi dominan SO_2 dan NO_2 di Kota Semarang yang berpengaruh terhadap SO_2 dan NO_2 di udara serta SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Kota Semarang. Batasan penelitian adalah:

- a. Sumber emisi SO_2 dan NO_2 adalah sumber emisi antropogenik dari kegiatan industri dan transportasi yang berada di wilayah Kota Semarang. Sumber emisi dari rumah tangga tidak dicakup dalam penelitian karena emisi dari rumah tangga jumlahnya relatif kecil dan cenderung menyebar di seluruh Kota. Sumber alami dari dekomposisi sampah, gunung berapi dan emisi dimetil sulfida (DMS) dari dekomposisi bahan organik di laut tidak dilingkup karena jumlahnya sulit ditentukan. *Background* konsentrasi SO_2 dan NO_2 di ambien ditentukan pada daerah yang tidak memperoleh kontribusi polutan dari sumber-sumber emisi.
- b. Sumber emisi bergerak dihitung berdasarkan kepadatan arus lalu lintas pada jalan TOL, arteri primer, arteri sekunder, kolektor primer dan kolektor sekunder. Jalan lokal primer dan primer sekunder tidak dicakup dalam penelitian karena jalan lokal primer dan jalan lokal sekunder cenderung menyebar di seluruh Kota, panjang jalan cenderung pendek, kepadatan kendaraan cenderung kecil dan jenis kendaraan yang melintas kebanyakan sepeda motor dan mobil pribadi sehingga emisi SO_2 dan NO_2 relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan jenis kelas jalan lainnya. Polutan dari sumber emisi jalan lokal primer dan jalan lokal sekunder sebagai background konsentrasi SO_2 dan NO_2 di ambien.
- c. Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di ambien diukur pada ketinggian 1,5 m di atas tanah.
- d. Model sebaran SO_2 dan NO_2 di udara serta SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan dikembangkan dengan asumsi:
 - i. Sumber emisi terjadi secara kontinyu.

- ii. Sebaran SO_2 dan NO_2 dari sumber-sumber emisi menggunakan *short term transport* model Gaussian dan sebaran terjadi di bawah ketinggian *mixing height*.
- iii. Pada saat hujan tidak ada sinar matahari sehingga tidak terjadi peristiwa transformasi kimia karena pengaruh radiasi sinar matahari terutama pada NO_2 .
- iv. Semua SO_3^{2-} yang terbentuk dari proses kelarutan dan disosiasi SO_2 teroksidasi oleh senyawa-senyawa oksidator di atmosfer membentuk SO_4^{2-} .
- v. Peristiwa penyisihan polutan dalam keadaan hujan hanya melalui mekanisme deposisi basah.

C. Orisinalitas

Orisinalitas penelitian adalah mengintegrasikan model Gaussian dengan model spasial pada persebaran polutan (SO_2 dan NO_2) dari emisi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak serta SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Semarang dengan karakteristik topografi yang spesifik yaitu daerah dengan lorong dataran memanjang arah barat – timur dibatasi oleh pantai di utara dan dinding perbukitan di selatan.

Penelitian ini bermanfaat untuk mengidentifikasi dan menganalisis sumber-sumber emisi dominan yang memberi kontribusi terhadap SO_2 dan NO_2 di ambien serta SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan pencemaran udara. Hasil penelitian dapat digunakan pada kota-kota lain yang mempunyai karakter seperti Kota Semarang yaitu Jepara, Cirebon, Bandar Lampung serta kota-kota lain yang mempunyai karakter topografi yang serupa.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan topik maupun metode hampir sama dilakukan oleh Zhang M. et.al., Tuti Budiwati dan kawan-kawan, Sundar and Naresh R. Zhang X. Zhang M., Pu Y., Zhang R., Han Z. (2006), melakukan simulasi [SO₂] dan aerosol [SO₄²⁻] di *ground level* menggunakan *models-3 Community Multi-scale Air Quality modeling System* (CMAQ) dikombinasi dengan *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) pada musim semi 2001 di Korea Selatan, China dan di board pesawat C130. Zhang M., Pu Y., Zhang R., Han Z (2006) Mengkaji spasial dan temporal SO₂ dan SO₄²⁻ di Asia Timur. Simulasi SO₂ dan aerosol SO₄²⁻ di *ground level* menggunakan *models-3 Community Multi-scale Air Quality modeling System* (CMAQ) dikombinasi dengan *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) pada musim semi 2001 di Korea Selatan, China dan di board pesawat C130. Hasil model menunjukkan adanya variasi SO₂ dan aerosol SO₄²⁻ terhadap waktu dan tempat dipengaruhi oleh perubahan kimia, penyisihan dan transport polutan. Lapisan 2 – 5 km menunjukkan bahwa rasio SO₄²⁻ dengan SO₂ bervariasi pada lokasi-lokasi pengujian. Lapisan di atas 2 km model menunjukkan korelasi yang baik, Konsentrasi SO₄²⁻ tinggi ketika SO₂ tinggi. Keadaan ini terjadi hingga ketinggian 150 m. Lapisan pada ketinggian hingga 150 meter, model tidak menunjukkan korelasi yang baik, rasio SO₄²⁻ dengan SO₂ dipengaruhi oleh emisi, angin, transport dan transformasi senyawa kimia.

Tuti Budiwati, Afif Budiono, Wiwiek Setyawati, Asri Indrawati (2010) mengkaji pengaruh elemen kimia dan faktor meteorologi terhadap air hujan menggunakan Korelasi Pearson antara elemen-elemen kimia dalam air hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korelasi antara SO₄²⁻ dan NO₃⁻ pada musim basah lebih besar daripada musim kering. Keadaan ini disebabkan karena pada musim basah terjadi pembentukan SO₄²⁻ dan NO₃⁻ sedangkan musim kering terjadi pembentukan aerosol sulfat dan nitrat.

Tuti Budiwati (2007) melakukan penelitian dengan mencari korelasi antara SO₂, SO₄²⁻ Aerosol SO₄²⁻ Hujan di Jakarta dan Kototabang pada musim hujan dan kemarau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SO₄²⁻ hujan di Jakarta lebih dipengaruhi SO₄²⁻ aerosol dibanding SO₂ pada musim hujan dan kemarau. SO₄²⁻ hujan di Kototabang pada musim hujan lebih dipengaruhi oleh SO₄²⁻ aerosol, sedangkan musim kemarau SO₄²⁻ hujan lebih dipengaruhi oleh SO₂.

Sundar S. and Naresh R., (2010) mengembangkan model matematika menggunakan interaksi nonlinier untuk menganalisis penyisihan polutan oleh hujan. Model yang dikembangkan menggunakan asumsi bahwa penyisihan polutan oleh air hujan terjadi dalam tiga fase, fase titik air hujan, fase polutan dan fase serapan polutan oleh titik-titik air hujan. Konsentrasi polutan dalam air hujan dipengaruhi oleh sumber emisi (Q), penyisihan polutan secara alami melalui deposisi kering dan penyisihan polutan oleh hujan dengan model sebagai berikut: $\frac{dC_r}{dt} = Q(t) - \delta C - \frac{\alpha C C_r}{\alpha + b C} + \pi v C_r C_a$. Dimana $Q(t)$ adalah pasokan polutan dari sumber emisi, δC adalah fraksi deposisi kering dan $\frac{\alpha C C_r}{\alpha + b C} + \pi v C_r C_a$ adalah fraksi deposisi basah.

Zhang X., Jiang H., Jin J., Xu X., Zhang Q. (2012) melakukan analisis pola hujan asam di Cina bagian timur laut. Penelitian difokuskan pada variasi hujan asam berbasis spasial dan waktu. Metodologi yang digunakan adalah menyederhanakan kelompok variabel bebas yang kompleks. Metode untuk estimasi menggunakan regresi berganda dengan variable: pH, letak geografi, elevasi, SO₂, NO₂, tekanan udara, suhu udara, Rh, arah dan kecepatan angin. Hasil simulasi mengindikasikan bahwa jarak dari garis pantai, ketinggian, arah dan kecepatan angin, curah hujan, tekanan udara dan konsentrasi polutan penghasil hujan asam berpengaruh kuat terhadap kejadian hujan asam di timur Laut Cina.

Perbedaan disertai dengan penelitian terdahulu adalah metode untuk menentukan konsentrasi polutan pada lokasi penelitian berdasarkan analisis spasial menggunakan peta sebaran dan model sebaran Gaussian dari berbagai sumber emisi sehingga kontribusi polutan dari masing-masing sumber emisi dapat diketahui. Dalam penelitian Zhang M. et.al., (2006), melakukan simulasi $[SO_2]$ dan aerosol $[SO_4^{2-}]$ di *ground level* menggunakan *models-3 Community Multi-scale Air Quality modeling System (CMAQ)* dikombinasi dengan *Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)* namun tidak melakukan penelitian dampak dari masing-masing sumber emisi dan topografi terhadap konsentrasi SO_2 dan aerosol SO_4^{2-} . Demikian pula yang dilakukan oleh Tuti Budiwati dan kawan kawan (2010), mengkorelasikan konsentrasi SO_2 di udara ambien dengan SO_4^{2-} dalam air hujan tanpa melakukan identifikasi dan pengaruh sumber-sumber emisi terhadap SO_2 dan SO_4^{2-} . Sundar (2010) konsentrasi polutan pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh sumber emisi namun tidak membahas mekanisme transportasi polutan dari sumber emisi sampai ke lokasi penelitian dan kontribusi masing-masing sumber tidak dapat ditentukan karena dalam penelitian ini menggunakan konsentrasi (C) dan emisi total. Zhang X. et al., (2012) menggunakan regresi berganda untuk menganalisis variabel letak geografis, elevasi, SO_2 , NO_2 , suhu, RH arah dan kecepatan angin untuk menganalisis pola hujan, namun dalam penelitian ini Zhang tidak membahas pengaruh sumber-sumber emisi terhadap hujan asam. Disertasi ini mengembangkan metode dalam menentukan kontribusi sumber-sumber emisi dominan dari kegiatan industri dan transportasi lokal yang berpengaruh terhadap konsentrasi polutan menggunakan metode sebaran SO_2 dan NO_2 di ambien dengan sebaran pH, DHL, SO_4^{2-} dan NO_3^- . Model yang dikembangkan adalah spasial dan model matematika. Model spasial dikembangkan berdasarkan pola sebaran SO_2 dan NO_2

di ambien disusuntindihkan dengan pola sebaran SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan. Model matematika dikembangkan berdasarkan laju akumulasi SO_2 dan NO_2 :

Laju akumulasi = laju input - laju output - laju transformasi.

$$\frac{dC}{dt} = Q - W - D - R \dots\dots\dots 1.1$$

dimana dC/dt : laju perubahan konsentrasi SO_2 , NO_2 ($\mu\text{g}/dt$), Q : laju emisi SO_2 , NO_2 (g/dt), W : deposisi basah, D : deposisi kering dan R : transformasi SO_2 , NO_2 melalui reaksi kimia di atmosfer. Sehubungan dengan model dikembangkan berdasarkan kejadian hujan maka perubahan konsentrasi SO_2 dan NO_2 dominan dipengaruhi oleh deposisi basah sehingga R dapat diabaikan. Sumber emisi yang berpengaruh terhadap konsentrasi SO_2 , NO_2 di suatu lokasi merupakan gabungan dari berbagai sumber, sehingga Q merupakan akumulasi SO_2 , NO_2 dari berbagai sumber

$$Q \rightarrow \sum Q_{i-n} \dots\dots\dots 1.2$$

Emisi gas dari sumber emisi bergerak atau kendaraan bermotor dan sumber tidak bergerak dari cerobong industri bersifat kontinyu. Gas terlepas dari sumber mengalami pengenceran, pencampuran dan perpindahan. Model lepasan gas menggunakan model dispersi untuk laju alir konstan adalah sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} - u \frac{dC}{dx} - r + w \dots\dots\dots 1.3$$

Dimana r : laju transformasi dan w : laju transfer massa. Tinjauan tiga dimensi:

$$\frac{dC}{dt} = D_x \frac{d^2C}{dx^2} + D_y \frac{d^2C}{dy^2} + D_z \frac{d^2C}{dz^2} - u_x \frac{dC}{dx} - u_y \frac{dC}{dy} - u_z \frac{dC}{dz} + \sum R + \sum W \dots 1.4$$

Dimana $\Sigma R = r_p - r_e$. r_p : laju timbulan massa dan r_e : laju eliminasi massa. Penyelesaian laju timbulan masa menggunakan pendekatan Gaussian emisi sumber tidak bergerak pada pelepasan kontinyu dengan ketinggian H, kecepatan angin rerata \bar{u} , ke arah x, y, dan z adalah:

$$Y(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \dots\dots\dots 1.5$$

Dimana Y: Konsentrasi polutan di udara ambien dari sumber emisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) merupakan deposisi kering gas SO₂, NO₂ dari sumber emisi, \bar{u} : kecepatan angin rerata (m/dt), σ_y : konstanta deviasi standar dispersi vertikal (m), σ_z : konstanta deviasi standar dispersi horizontal (m), H: tinggi cerobong efektif = tinggi cerobong + tinggi kepulan asap (m), Z: tinggi reseptor di atas permukaan tanah (m), Q: *volum rate* (debit) pada saat keluar dari cerobong (mg/dt). Masa polutan (W) dalam air hujan adalah:

$$W = Y \cdot K_w \dots\dots\dots 1.6$$

Dalam keadaan hujan, transformasi polutan (R) dapat diabaikan karena transformasi polutan terjadi dalam keadaan terlarut (deposisi basah). Sehingga diperoleh persamaan:

$$C = Y - Y \cdot K_w \dots\dots\dots 1.7$$

Dimana K_w : koefisien deposisi basah. $K_w = a \cdot P^m$ dengan a, m adalah konstanta gas dengan $a_{(\text{SO}_2)} = 0,0001$, $a_{(\text{NO}_2)} = 0,0000008$ dan $m = 0,65$ (Hall, 1998).

D. Tujuan Penelitian

1. Tujuan umum

Disertasi ini bertujuan mengembangkan model sebaran SO₄²⁻ dan NO₃⁻ dalam air hujan berdasarkan sumber emisi dominan kegiatan antropogenik lokal dari aktifitas industri dan transportasi.

2. Tujuan khusus

- a. Mengkaji sumber emisi SO_2 dan NO_2 dari aktifitas industri dan transportasi serta pola sebaran SO_2 dan NO_2 di Kota Semarang.
- b. Mengkaji pH, DHL, SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Kota Semarang.
- c. Mengkaji dampak emisi SO_2 dan NO_2 dari aktifitas industri dan transportasi terhadap SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Semarang.
- d. Mengembangkan model sebaran SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di Kota Semarang.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberi manfaat bagi akademis dalam pengembangan ilmu dan instansi terkait dalam melakukan identifikasi dan analisis sumber-sumber emisi dominan dalam pengembangan kebijakan pencegahan pencemaran udara.

1. Manfaat akademis

Bagi akademis, hasil penelitian disertasi ini diharapkan dapat memberi manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan sebagai berikut:

- a. Pengembangan pengetahuan dalam pola sebaran polutan SO_2 dan NO_2 dari sumber emisi.
- b. Pengembangan pengetahuan deposisi basah SO_2 dan NO_2 .
- c. Pengembangan pengetahuan dalam identifikasi sumber emisi dominan pencemaran udara dari aktifitas antropogenik lokal yaitu industri, transportasi.

2. Manfaat praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat dalam:

- a. Teridentifikasinya sumber emisi terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 di ambien serta SO_4^{2-} dan NO_3^- kejadian hujan asam di suatu lokasi.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan pengendalian sumber emisi gas buang.