

Analisis Sifat Hujan Asam di Kota Semarang Sudalma^{1,2*}, Purwanto^{1,3}

1. Program Doktor Ilmu Lingkungan Undip. Jln Imam Barjo No. 5 Semarang.
 2. BPPKK dan Hiperkes Dinakertransduk Prov. Jawa Tengah. Jl, Ngesrep Barat III No. 44 Semarang
 3. Jurusan Teknik Kimia FT Undip Semarang. Kampus Tembalang Semarang
- * dalma.2370@ymail.com.

ABSTRAK

Perkembangan Kota Semarang sebagai kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan menyebabkan terjadinya urbanisasi dan peningkatan jumlah penduduk. Jumlah penduduk Kota Semarang pada tahun 2010 1.527.433 jiwa dengan laju pertumbuhan 1,4% pertahun. Sebagai pusat pemerintahan Jawa tengah konsumsi bahan bakar untuk keperluan transportasi di Semarang berkisar 13% untuk bensin dan 3% untuk solar dari total konsumsi di Jawa Tengah. Emisi SO₂ dan NO₂ dalam tahun 2001 hingga 2010 dengan emisi per tahun sebesar 2.529.657 – 2.930.301 ton NO₂ dan 2.862.525 – 3.775.040 ton SO₂. Peningkatan emisi disebabkan karena adanya peningkatan konsumsi bahan bakar pada sumber tidak bergerak dan sumber bergerak.

Keasaman (pH) air hujan di kota Semarang pada tahun 2009-2011 berkisar antara 5,46 – 4,36. Analisis korelasi Pearson antara keasaman (pH) dengan curah hujan, SO₄²⁻ dan NO₃⁻ dalam air hujan menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara pH dengan SO₄²⁻ dan NO₃⁻ pada curah hujan > 350 mm. Hal ini berarti bahwa pada curah hujan tinggi sulfat dan nitrat lebih banyak berbentuk asam yang terlarut dalam air hujan. Pada curah hujan rendah (< 350 mm) korelasi antara pH dengan SO₄²⁻ dan NO₃⁻ rendah.

Key Word: emission, acid rain, rainfall.

1. PENGANTAR

Arah perkembangan Kota Semarang yang tertuang dalam RPJMD tahun 2010 – 2015 sebagai kota industri, perdagangan, pendidikan dan jasa. Konsekuensi dari kebijakan tersebut adalah meningkatnya laju urbanisasi dengan tujuan untuk mencari pekerjaan atau pendidikan. Dampak urbanisasi selain dapat meningkatkan ekonomi juga menyebabkan pertambahan jumlah penduduk dan pencemaran lingkungan (Cherniwchan, 2012). Jumlah penduduk Semarang tahun 2010 adalah 1.527.433 jiwa dengan laju pertumbuhan 1,4 % pertahun. Meningkatnya polusi penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan pangan, papan dan pekerjaan serta ragam kebutuhan lainnya. Semakin banyak jumlah penduduk membutuhkan lahan hunian baru yang semakin jauh dari pusat kota sehingga membutuhkan sarana transportasi dari tempat hunian menuju ke pusat kegiatan baik untuk bekerja atau untuk keperluan lainnya. Meningkatnya mobilitas penduduk menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar dan menimbulkan pencemaran udara.

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UU no 32 tahun 2009).

Pencemaran terjadi karena masuknya bahan pencemar melebihi kemampuan alam untuk mengolahnya menjadi senyawa kimia lain yang tidak berbahaya senyawa yang dibutuhkan oleh komponen alam untuk memenuhi kebutuhan mineral melalui dekomposisi oleh jasad renik maupun melalui reaksi kimia dan lebih dikenal sebagai daur biogeokimia (Bishop, 2000; Miller, 2007).

Bahan pencemar yang dikeluarkan oleh sumber emisi baik sumber alami maupun sumber antropogenik dari industri, transportasi dan rumah tangga mengalami proses transportasi dan transformasi. Transportasi bahan pencemar terjadi karena pengaruh angin (*advection*), sebaran (*dispersion*), serapan oleh tanaman, gravitasi (*dry deposition*) dan air hujan (*wet deposition*). Transformasi bahan pencemar terjadi melalui mekanisme reaksi kimia di atmosfer membentuk polutan sekunder (Atkinson R, 1988).

Hujan asam merupakan salah satu indikator terjadinya pencemaran udara. Hujan asam terjadi karena hujan mengandung asam sehingga pH menjadi di bawah pH normal. Asam-asam yang terkandung dalam air hujan adalah karbonat, nitrat dan sulfat (Manahan, 2000; Aikawa et al, 2009; Huang et al, 2008). Asam-asam tersebut merupakan polutan sekunder sebagai hasil reaksi kimia di atmosfer dari polutan primer CO₂, NO₂ dan SO₂ yang berasal dari proses pembakaran (Butler et al, 2003). Dengan semakin meningkatnya CO₂ di atmosfer menyebabkan pH air hujan turun hingga 5,6 meskipun tidak ada sumber pencemaran penyebab hujan asam lain (Tietenberg, 2003).

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis sifat hujan asam yang terjadi di kota Semarang. Batasan pembahasan kajian ini adalah peningkatan emisi bahan pencemar dari pembakaran bahan bakar fosil, kejadian hujan asam serta korelasi antara keasaman (pH) air hujan dengan curah hujan, SO₄²⁻ dan NO₃⁻. Dalam kajian menganalisis kandungan SO₄²⁻ dan NO₃⁻ dalam air hujan.

2. METODOLOGI

Sumber data konsumsi bahan bakar dan emisi SO_2 dan NO_2 adalah Jawa Tengah Dalam Angka dari tahun 2002 hingga 2011 yang dikeluarkan oleh Balai Pusat Statistik (BPS) Jawa Tengah. Sumber data pH air hujan, konsentrasi NO_3^- dan SO_4^{2-} dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Semarang. Analisa data menggunakan korelasi Pearson untuk mendapatkan hubungan antara keasaman (pH) air hujan, curah hujan, SO_4^{2-} dan NO_3^- .

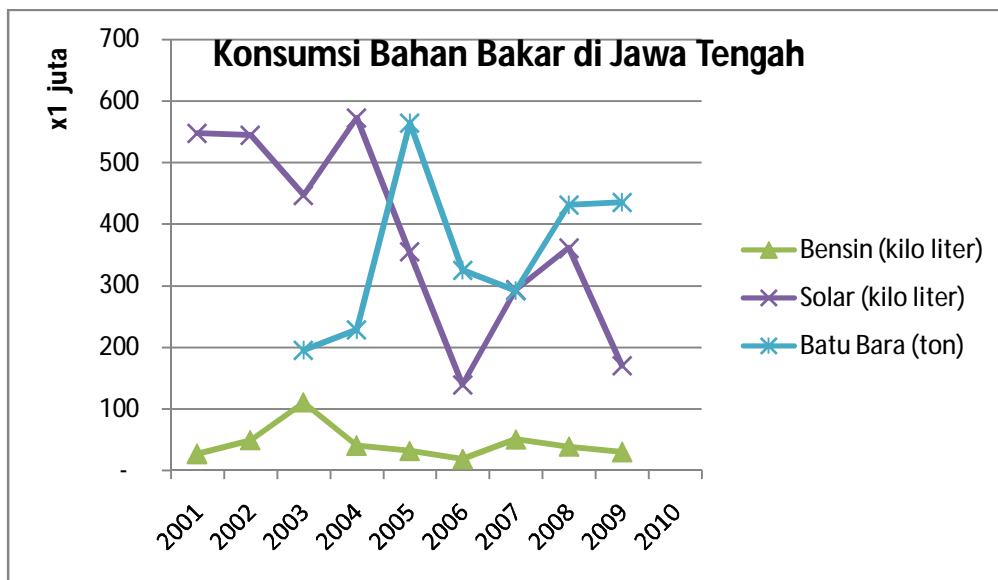
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Karakteristik Sumber Emisi

Sumber emisi polutan berasal dari sumber alami dan dari kegiatan antropogenik. Sumber pencemar dari kejadian alam yaitu aktifitas gunung api, kebakaran hutan, dan pembusukan material organik baik di darat maupun di perairan. Pada umumnya pencemaran dari sumber alami sulit diketahui jumlahnya (Feichter et al, 1995). Dalam beberapa kasus kejadian alam dapat mengemisikan pencemar dalam jumlah besar seperti letusan gunung api dapat mengeluarkan jutaan ton gas dan partikel ke atmosfer.

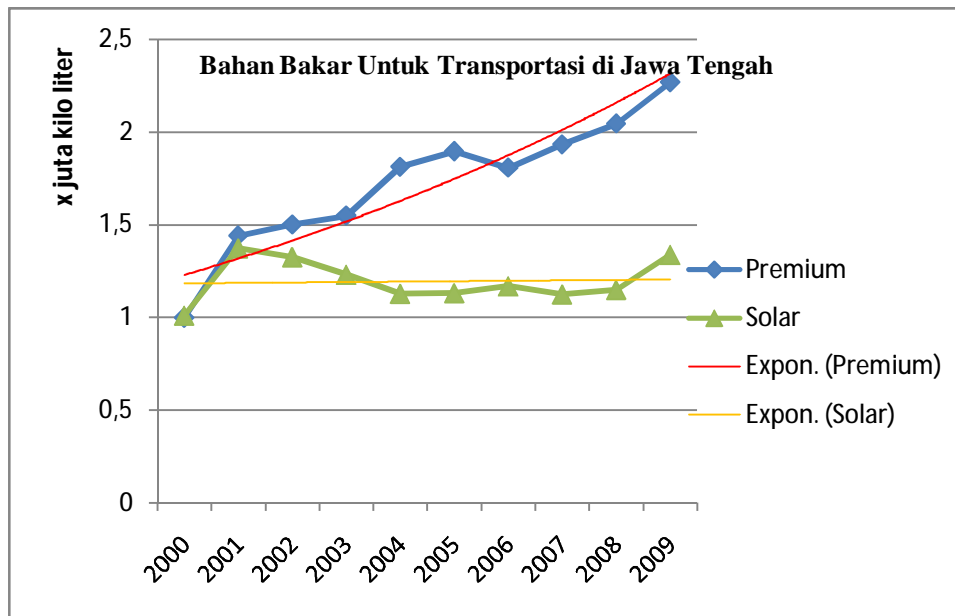
Sumber utama sulfur adalah : (1) asap gunung berapi mengandung sulfur dioksida (SO_2) dan asam sulfida (H_2S); (2) dekomposisi biologis (biogenik) dari material organik dan reduksi sulfat menghasilkan $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ dan H_2S , sumber utama dimetil sulfida ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) adalah emisi hasil biodegradasi dari laut; (3) Aktifitas manusia (antropogenik) adalah pembakaran biomasa dan bahan bakar fosil (batubara dan minyak bumi) (Feichter et. al., 1995). Sulfur dalam batu bara berbentuk *pyrite* (FeS_2) dan sulfur organik. Pembakaran *pyrite* membentuk SO_2 dan hanya sebagian kecil (1 – 2 %) membentuk SO_3 (Manahan, 2000).

3.1.1. Konsumsi Bahan Bakar

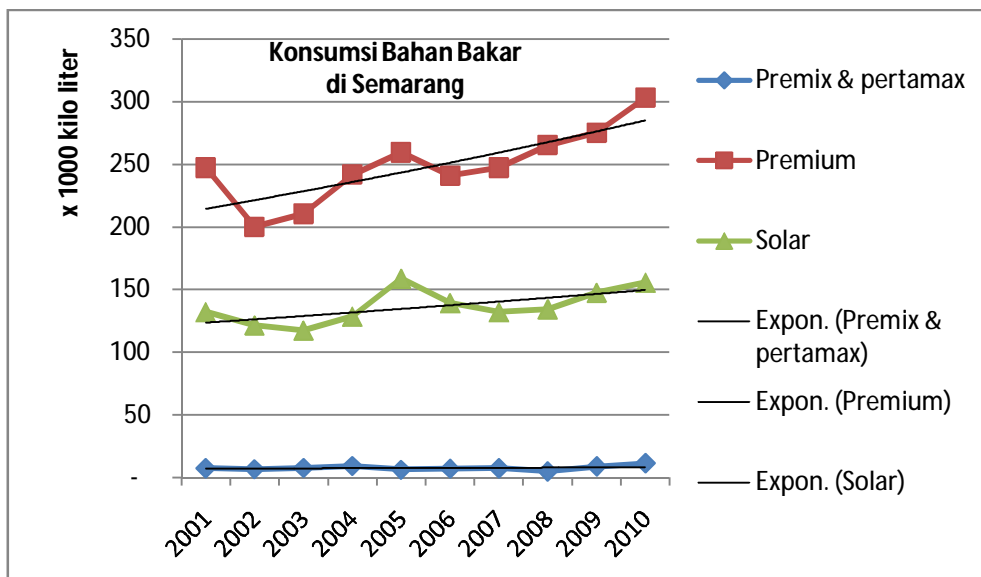


Gambar 1. Konsumsi Bahan Bakar Industri di Jawa Tengah tahun 2001 – 2010. Sumber BPS Jawa Tengah

Konsumsi bahan bakar di Jawa Tengah (Gambar 1) untuk industri mengalami perubahan sejak terjadi kenaikan harga solar industri. Banyak industri beralih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar boiler. Penggunaan batu bara menyebabkan terjadi peningkatan emisi sulfur dioksida ke atmosfer disebabkan kandungan sulfur pada batu bara.



Gambar 2. Bahan Bakar Transportasi di Jawa Tengah. Sumber: Jawa Tengah Dalam Angka tahun 2001 - 2010. BPS Jawa Tengah.

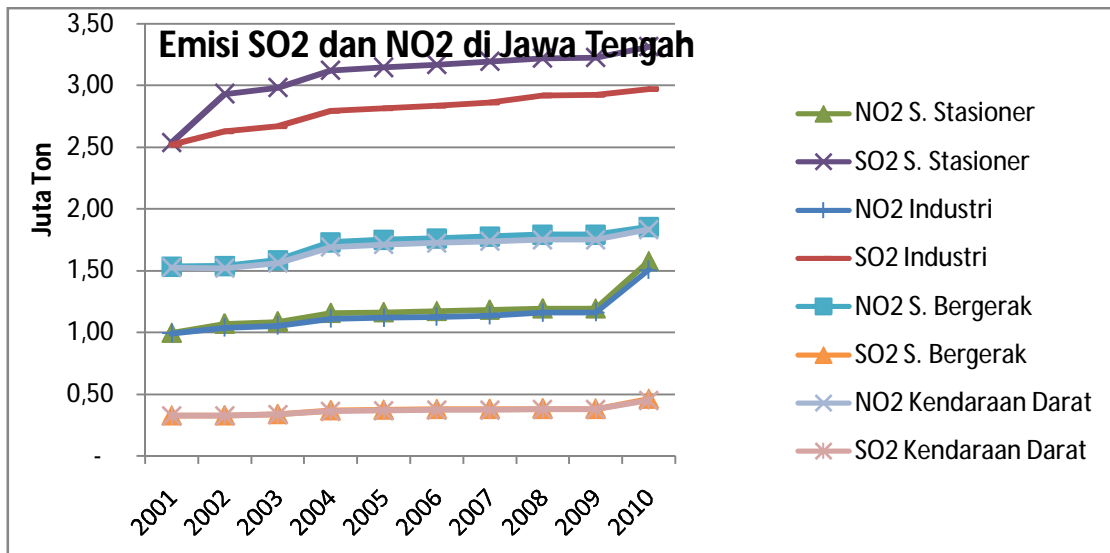


Gambar 3. Konsumsi Bahan Bakar di Kota Semarang tahun 2001 - 2010. Sumber BPS Jawa Tengah.

Konsumsi bensin untuk transportasi di Semarang mencapai 13% dari konsumsi bensin di Jawa Tengah, sedangkan konsumsi solar kurang lebih 3 %. Konsumsi bahan bakar untuk transportasi menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan. Peningkatan konsumsi bahan bakar disebabkan oleh peningkatan mobilitas penduduk sebagai akibat dari pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi dan perkembangannya Kota Semarang.

3.1.2. Emisi Bahan Pencemar Di Jawa Tengah

Pencemar udara sebagai hasil aktifitas manusia berasal dari konsumsi bahan bakar fosil (batu bara dan minyak bumi) untuk pemenuhan energi (pembangkit listrik), industri dan transportasi (Huang, 2010). Perkembangan ekonomi suatu negara dapat menjadi pemacu bertambahnya emisi SO_2 , NO_2 dan polutan lainnya dan dapat menyebabkan terjadinya masalah pencemaran lingkungan lainnya seperti terjadinya hujan asam (Huang, 2010).



Gambar 3. Emisi SO₂ dan NO₂ di Jawa Tengah. Sumber Jawa Tengah Dalam Angka tahun 2001 – 2010. BPS Jawa Tengah

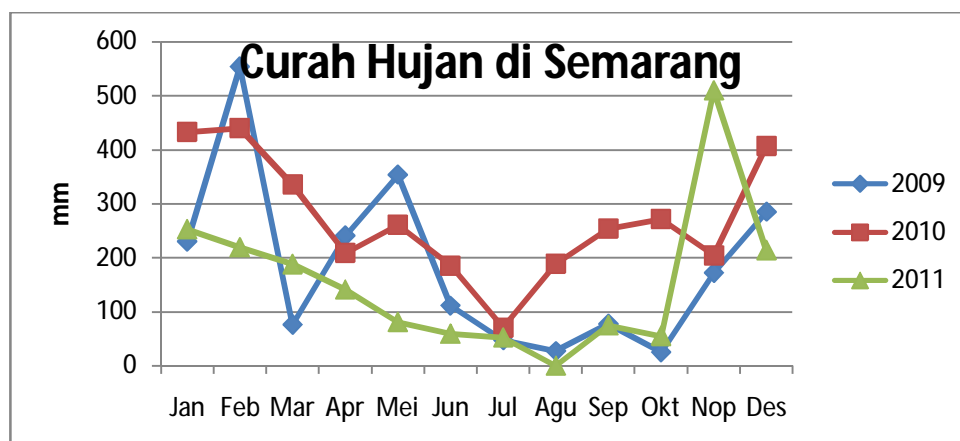
Emisi bahan pencemar (SO₂ dan NO₂) di Jawa Tengah dalam tahun 2001 hingga 2010 mengalami peningkatan dari 2.529.657 – 2.930.301 ton NO₂ dan 2.862.525 – 3.775.040 ton SO₂. Peningkatan bahan pencemar disebabkan oleh peningkatan konsumsi bahan bakar. Sumber utama SO₂ berasal dari sumber emisi stasioner dari industri dan rumah tangga, sedangkan sumber emisi NO₂ berasal dari emisi sumber bergerak terutama transportasi darat (Soehodo, 2005).

Peningkatan emisi SO₂ dari industri disebabkan alih bahan bakar industri untuk pemanas boiler dari solar (HSD) menjadi batu bara karena adanya kenaikan harga solar pada tahun 2006. Penggunaan batu bara menyebabkan emisi SO₂ meningkat disebabkan kandungan sulfur dalam batu bara dalam bentuk pyrite (Manahan, 2000).

Transportasi darat sebagai sumber utama emisi NO₂. Penggunaan bahan bakar cair yaitu Bensin (pertamax dan premium) maupun solar mempunyai kandungan sulfur rendah karena bahan bakar tersebut telah dilakukan proses desulfurisasi untuk memenuhi persyaratan spesifikasi mesin.

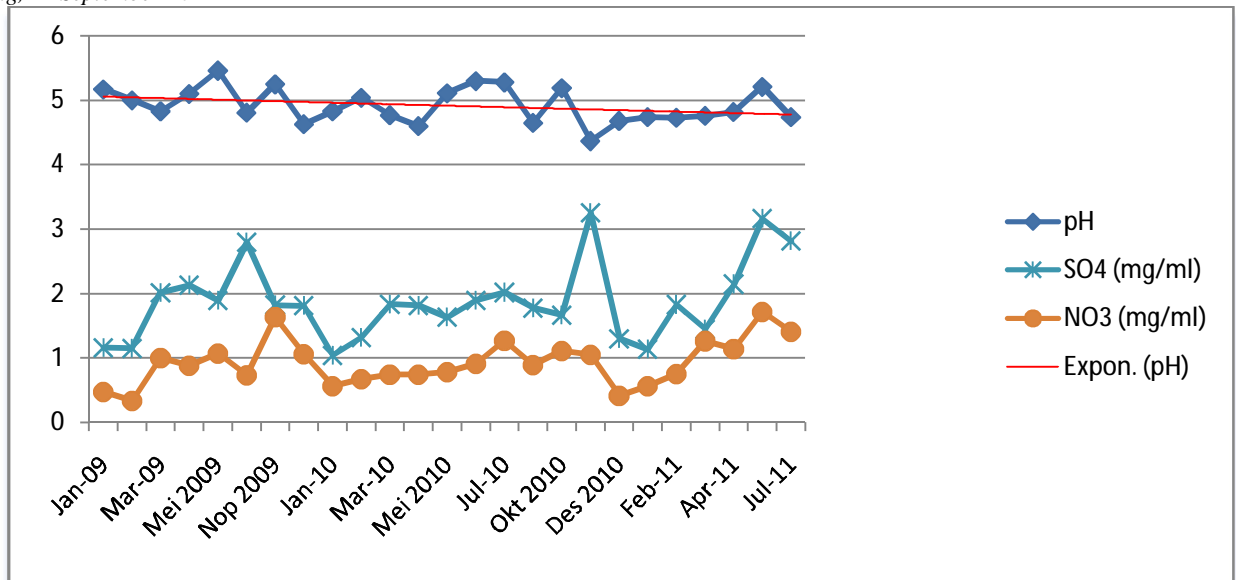
3.2. Curah Hujan dan pH Air Hujan di Semarang

Curah hujan di Semarang tahun 2009-2011 menurut data Staklim BMKG Semarang di sajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Curah hujan (mm) tahun 2009-2011 di Semarang. Sumber BMKG Semarang.

Tingkat Keasaman (pH) air hujan bulan Desember 2008 – Juli 2011 menurut data BMKG Semarang disajikan dalam Gambar 5.

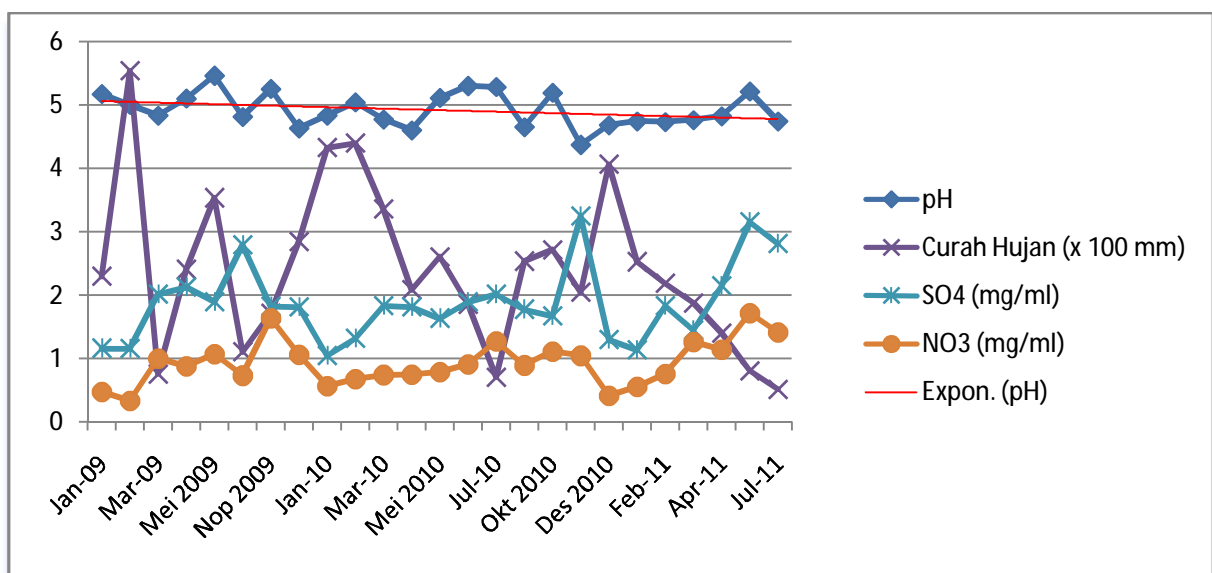


Gambar 5. pH, SO_4^{2-} , NO_3^- dalam air hujan di Semarang Desember 2008 – Juli 2011. Sumber: BMKG Semarang.

Keasaman (pH) air hujan di Semarang dari bulan Januari 2009 – Juli 2011 berkisar antara 5,46 – 4,36 dan menunjukkan adanya tren penurunan pH air hujan seiring dengan peningkatan emisi SO_2 dan NO_2 . Rendahnya pH dalam air hujan dapat menyebabkan masalah lingkungan lainnya. Kandungan asam dalam air hujan dapat menyebabkan pelarutan logam yang terdapat dalam bebatuan, bangunan yang menggunakan semen (Yan-Jun et al, 2012) dan benda-benda *property* berasal dari logam. Pelarutan logam mengakibatkan peningkatan pencemaran logam di perairan (Manahan, 2000).

Hujan dapat membersihkan bahan pencemar dari atmosfer dikenal sebagai *rainout* dan *washout* atau sering disebut sebagai *wet deposition*. Kemampuan air hujan dalam membersihkan bahan pencemar di atmosfer tergantung dari kelarutan bahan-bahan pencemar dan curah hujan. CO_2 , SO_2 dan NO_2 mempunyai kelarutan yang sangat rendah namun dalam bentuk CO_3^{2-} , SO_4^{2-} dan NO_3^- sangat larut dalam air. Tingginya kadar CO_2 di atmosfer sebagai dampak global emisi pembakaran bahan bakar fosil dan biomasa menyebabkan pH air hujan mencapai 5,6 (Manahan, 2000).

Kandungan SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan di stasiun pengamatan BMKG Semarang di Jln Kali Banteng Semarang berkisar antara 1,046 – 3,162 mg/ml SO_4^{2-} dan 0,336 – 1,716 mg/ml NO_3^- . Pada saat curah hujan tinggi, konsentrasi SO_4^{2-} dan NO_3^- di bawah rerata sedangkan pH cenderung di atas rerata. Pada saat curah hujan rendah, pH di bawah rerata dan konsentrasi SO_4^{2-} dan NO_3^- di atas rerata.



Gambar 6. Curah hujan, pH, SO_4^{2-} dan NO_3^-

3.3. Analisis Korelasi Pearson

Korelasi Pearson digunakan untuk mengetahui korelasi antara keasaman (pH), curah hujan, SO_4^{2-} dan NO_3^- . Hasil korelasi Pearson disajikan dalam Table 1 dan Tabel 2. Dalam Tabel 1. Korelasi Pearson dihitung pada semua kondisi curah hujan. Korelasi antara pH dengan curah hujan, SO_4^{2-} dan NO_3^- mempunyai nilai $< 0,801$, berarti mempunyai tingkat korelasi rendah.

Dalam Tabel 2. Korelasi Pearson dihitung pada keadaan curah hujan > 350 mm. hasil korelasi menunjukkan bahwa Korelasi Pearson antara pH dengan SO_4^{2-} dan NO_3^- mempunyai nilai $> 0,0801$, berarti mempunyai tingkat korelasi tinggi dan pH air hujan dipengaruhi oleh kadar SO_4^{2-} dan NO_3^- . Dalam Tabel 1 dan 2, korelasi antara curah hujan dengan pH, SO_4^{2-} dan NO_3^- mempunyai nilai negative, berarti peningkatan curah hujan menyebabkan kadar SO_4^{2-} dan NO_3^- semakin kecil.

Tabel 1. Korelasi Pearson pada segala kondisi curah hujan

	pH	Curah Hujan	SO_4^{2-}	NO_3^-
pH	1	- 0,051	0,076	0,223
Curah Hujan	- 0,051	1	-0,657**	-0,594**
SO_4^{2-}	0,076	-0,657**	1	0,877**
NO_3^-	0,223	-0,594**	0,877**	1

** Korelasi signifikan pada tingkat 0,01

Tabel 3. Korelasi Pearson pada curah hujan > 350 mm

	pH	Curah Hujan	SO_4^{2-}	NO_3^-
pH	1	-0,323	0,821	0,842
Curah Hujan	-0,323	1	-0,682	-0,759
SO_4^{2-}	0,821	-0,682	1	0,862
NO_3^-	0,842	-0,759	0,862	1

4. KESIMPULAN

Kejadian hujan asam di Kota Semarang menunjukkan adanya kecenderungan penurunan keasaman (pH) air hujan dari Januari 2009 hingga Juli 2011 dengan nilai berkisar antara 5,46 – 4,36. Penurunan pH air hujan disebabkan adanya peningkatan emisi SO_2 dan NO_2 baik dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak.

Analisa korelasi Pearson terhadap keasaman (pH) dengan curah hujan, SO_4^{2-} dan NO_3^- dalam air hujan menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara pH dengan SO_4^{2-} dan NO_3^- pada curah hujan > 350 mm. Hal ini berarti bahwa pada curah hujan tinggi sulfat dan nitrat lebih banyak berbentuk asam yang terlarut dala air hujan. Pada curah hujan rendah (< 350 mm) korelasi antara pH dengan SO_4^{2-} dan NO_3^- rendah

5.REFERENSI

- Aikawa M., dan Hiraki T., 2009, *Washout/rainout contribution in wet deposition estimated by 0.5 mm precipitation sampling/analysis*, *Atmospheric Environment* **43**, 4935-4939.
- Atkinson R, 1988, *Atmospheric transformations of automotive emissions dalam Air Pollution the Automobile and Public Health*, Washington D.C : National Academy Press www.nap.edu/catalog/1033.html

Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Semarang, 11 September 2012

Bishop P.L., 2000, Pollution Prevention, Boston, USA : McGraw Hill.,

BPS Jawa Tengah, Jawa Tengah Dalam Angka 2001 - 2010, Semarang.

BPS Kota Semarang, Semarang Dalam Angka 2009, Semarang.

Butler T.J., Gene E. Likens, Françoise M. Vermeylen, Barbara J.B. Stunder, 2003, *The relation between NO_x emission and precipitation NO₃⁻ in the eastern USA*, **Atmospheric Environment** 37, 2093-2104.

Cherniwchan J., 2012, Economic growth, industrialization and the environment, **Resource and Energy Economics** 34, 442-467.

Feichter J., Kjellstöm E., Rodhe H., Detener F., Lelieveld J., and Roelofs G., 1995, *Simulation of Tropospheric Sulfur Cycle in A Global Climate Model*, **Atmospheric Environmental** Vol. 30, No.10/11, pp, 1693-1707, 1996

Huang K., G. Zhuang, C Xu, Y. Wang dan A. Tang, 2008, *The chemistry of the severe precipitation in Shanghai, China*, **Atmospheric Research** 89, 149-160

Huang F-X., Li X., He L., Hu N., Niu Y. dan Zeng L., 2010, *5-Year study of rainwater chemistry in a coastal mega-city in south China*, **Atmospheric Research** 97, 185-193.

Kementrian Lingkungan Hidup, 2009, Undang undang No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Manahan Stanley E, 2000, *Environmental Chemistry, 7 th edition*, Boca Raton Florida : CRC Press LLC.

Pemerintah Kota Semarang, 2010, RPJMD Kota Semarang tahun 2010 – 2015.

Soehodo S., 2005, *Study on Correlation Between Motor Vehicle Emission and Public Health*, **Proceeding of the Eastern Adia Society for transportation Studies**, Vol. 5, pp. 1841 – 1856.

Tietenberg, 2003, *Environmental and Natural Resource Economics, 6 th edition*, Boston, New York : Addison Wesley

Yan-Jun D., Ning-Jun J., Shui-Long S. dan Jin F., 2012, Experimental investigation of influence of acid rain on leaching and hydraulic characteristics of cement-based solidified/stabilized lead contaminated clay, **Journal of Hazardous Materials** 225-226, 195-201.