

MODEL SPASIAL SEBARAN PENCEMAR UDARA DARI SUMBER TRANSPORTASI DAN PENGARUHNYA PADA KUALITAS UDARA DI DALAM RUMAH DI SEKITAR JALAN RAYA

(Studi kasus di Wilayah Karees dan Cibeunying Kidul, Bandung)

SPATIAL MODELLING OF TRAFFIC-ORIGIN AIR POLLUTANT DISPERSION INTO INDOOR AIR QUALITY IN NEARBY HOUSES (Case study in Karees and Cibeunying Kidul area, Bandung)

^{1*} Filson Maratur Sidjabat¹ dan ²Driejana

1) Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Presiden

2) Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹fmsidjabat@president.ac.id dan ²driejana@yahoo.com

Abstrak: Sektor transportasi, sebagai salah satu kontributor terbesar untuk gas rumah kaca, menjadi tantangan besar di abad 21 ini. Banyak juga pencemar udara lainnya yang diemisikan dari sektor ini, berdampak pada kesehatan manusia. Pengembangan pembangunan di sektor transportasi harus diarahkan menjadi pengembangan transportasi yang berkelanjutan dan memperhatikan aspek lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, di perlukan penelitian untuk mengembangkan metode dalam mengkuantifikasi dampak terhadap kesehatan manusia, di Indonesia dengan segala keterbatasan data yang ada. Tujuan dari makalah ini adalah mengembangkan pendekatan untuk memprediksi konsentrasi di dalam rumah yang berasal dari aktivitas transportasi terdekat. Dalam jurnal ini, analisa spasial akan dilakukan terhadap hasil model konsentrasi NO₂ dan PM₁₀, Model dispersi konsentrasi outdoor NO₂ dan PM₁₀ diperoleh dengan menggunakan CALINE4. Data input CALINE4 diantaranya data sekunder aktivitas transportasi dari 6 jalan, dihitung dengan faktor emisi UK-NAEI, data meteorologis, kordinat UTM reseptor – data penderita asma - dari penelitian sebelumnya. Persentase nilai kesalahan rata-rata dari model NO₂, dari 120 reseptor di kawasan Cibeunying Kidul, adalah 33,3 % dan Nilai RMSE 18,5 µg/m³. Dari 3 reseptor di sekitar kawasan Karees, persentase nilai kesalahan rata-rata dari model PM₁₀ adalah 29,89 % dan RMSE 1,02 µg/m³. Model konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ adalah model ‘factor of two’. Peta prediksi konsentrasi dalam rumah diperoleh menggunakan ArcGISd dengan metode interpolasi IDW. Persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi NO₂ dalam rumah, dari 100 reseptor di kawasan Cibeunying Kidul, adalah 41,44 % dan Nilai RMSE 16,32 µg/m³. Dari 3 reseptor di sekitar kawasan Karees, persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi PM₁₀ dalam rumah adalah 26,41 % dan RMSE 1,80 µg/m³. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ dalam rumah di setiap reseptor untuk penelitian selanjutnya.)

Kata kunci: polusi udara, sektor transportasi, CALINE4, analisis spasial

Abstract : Transportation sector as one of the biggest contributors of greenhouse gas emission, becoming one of the biggest challenges in the 21st century. Many other air pollutants emit from this sector and have the human health effect. The development in this sector need to aims the sustainable transportation development, which concern the environment and human health aspects. Thus, need some research to develop the method to quantify the impact on human health, in Indonesia, where many data are limited and not available. This paper aims to develop an approach to estimate the pollutant concentration inside the house that is contributed by nearby transportation. In this paper, spatial analysis for the result modeling of NO₂ and PM₁₀. Outdoor NO₂ and PM₁₀ concentration dispersion model are obtained from CALINE4 software. Input data for CALINE4 are secondary data of transportation activiyy from 6 road, calculated by UK-NAEI emission factor, meteorological data, the UTM coordinate of receptor -data of people with asthma - from previous study. The average percentage of error value from NO₂ model, based on 120 receptor in Cibeunying Kidul area, is 33.3 % and RMSE is 18.5 µg/m³. From the 3 receptor around Karees area, the average percentage of error value from PM₁₀ model is 28.89 % and RMSE is

1.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. NO_2 and PM_{10} concentration model is a 'factor of two' model. The map of indoor concentration prediction are obtained using ArcGIS with IDW interpolation method,. The average percentage of error value from NO_2 indoor concentration model, based on 100 receptor in Cibeuuying Kidul area, is 41.44 % and RMSE is 16.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. From the 3 receptor around Karees area, the average percentage of error value from PM_{10} indoor concentration model is 26.41 % and RMSE is 1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The model can be used to predict the NO_2 and PM_{10} indoor concentration in all receptors for further research..

Key words: .air pollution, transportation sector, CALINE4, spatial analysis.

PENDAHULUAN

Sektor transportasi menjadi tantangan besar di abad 21 ini. Sektor transportasi mengkonsumsi 21% energi primer dan bertanggung jawab atas 20% emisi gas rumah kaca seluruh dunia (IEA, 2006 dalam Westerdahl *et al.*, 2009). Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi penggerak mesin, menghasilkan beberapa jenis gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan senyawa hidrokarbon lainnya, dan nitrogen oksida (N_2O), dengan tambahan polutan lainnya disamping pencemaran udara yang sudah umum diketahui dampaknya, seperti karbon monoksida (CO), *Non-methane Volatile Organic Compounds* (MNVOCs), sulfur dioksida (SO_2), partikulat (PM_{10}) dan oksida nitrogen lainnya (NO_x) (Lindley *et al.*, 1999). Gas rumah kaca dan pencemar udara lainnya ini berdampak pada kesehatan manusia (reseptor), baik secara langsung maupun tidak langsung.

Pengembangan pembangunan di sektor transportasi harus diarahkan menjadi pengembangan transportasi yang berkelanjutan dan memperhatikan aspek lingkungan dan kesehatan manusia. Berdasarkan *EST (Environmentally Sustainable Transportation) Guideline 1*, pengembangan transportasi berkelanjutan tidak hanya menyediakan keuntungan-keuntungan dalam mobilitas dan akses, tapi harus juga memperhatikan segi kesehatan dan lingkungan. Dalam *EST Guideline 2*, ditambahkan juga mengenai evaluasi trend transportasi jangka panjang, dengan mempertimbangkan seluruh aspek transport, dampak lingkungan dan kesehatannya, serta implikasi ekonomi dan sosial dari keberlangsungan proyek. Oleh karena itu, dalam peta jalan riset dan inovasi, pengembangan metode dalam mengkuantifikasi dampak terhadap kesehatan manusia sangatlah dibutuhkan. (Sidjabat *et.al.* 2011)

Dampak terhadap kesehatan manusia sebagai akibat dari aktivitas transportasi, telah diteliti di beberapa negara maju. Dari sebuah penelitian di Belanda baru-baru ini, diambil kesimpulan bahwa paparan jangka panjang dari *traffic related air pollution* berasosiasi dengan peningkatan penerimaan rumah sakit terhadap masalah pernafasan dan kardiovaskular (Dijkema, 2011). Banyak penelitian sebelumnya menganalisis/mendeteksi korelasi PM_{10} dan NO_x dengan penyakit asma (Weinmayr *et.al.*, 2010). Penelitian di Arizona, central Phoenix, mendeteksi hubungan statistik yang signifikan antara PM_{10} dan dampak kesehatannya. Untuk semua umur, *odds ratio* menunjukkan adanya sekitar 6,6% peningkatan risiko asma akibat dari peningkatan PM_{10} dari 33 ke 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fernando *et.al.*, 2008). Beberapa penulis menggunakan *concentration-response (C-R) functions* untuk memprediksikan efek-efek kesehatan yang dihubungkan dengan keberadaan polutan di udara. Misalnya, *health benefits analysis* dari penurunan konsentrasi NO_x dan PM_{10} dari suatu studi kasus yang realistis. Pemilihan spesifikasi *health outcomes* dalam penelitian ditentukan oleh kekuatan ketersediaan penelitian-penelitian sebelumnya (*the strength of available studies*) dan aksesibilitas dan aksebilitas dari data informasi kesehatan (Morra, 2008). Untuk mempelajari lebih lanjut mengenai dampak kesehatan dari pencemar udara dari sektor transportasi, model konsentrasi dibutuhkan. Keuntungan potensial dari memodelkan prediksi konsentrasi polutan untuk penelitian seputar dampak kesehatan termasuk peningkatan estimasi spasial dari paparan *traffic-related pollutant* dan pengurangan pengukuran polutan dalam jumlah yang besar (Skene, 2010). Tujuan dari

makalah ini adalah mengembangkan pendekatan untuk memprediksi konsentrasi di dalam rumah yang berasal dari aktivitas transportasi terdekat.

METODOLOGI

Data yang digunakan untuk model dispersi konsentrasi NO_x dan PM_{10} menggunakan software CALINE4 adalah beban emisi dari data aktivitas transportasi, data meteorologis, dan kordinat dan kondisi geometrik tiap *link*. Dari hasil model dispersi, peta prediksi konsentrasi NO_2 dan PM_{10} *indoor* dan *outdoor* dihasilkan, dengan dilakukan ekstrapolasi model konsentrasi dari CALINE4, menggunakan ArcGIS 9. Model konsentrasi indoor/outdoor diperoleh dari penelitian sebelumnya (Yudison, 2011).

Parameter dan Lokasi. Parameter penting yang dipilih dalam melihat dampak pencemar udara terhadap kesehatan adalah NO_x dan PM_{10} . Lokasi studi dilakukan di wilayah Karees dan Cibeunying Kidul, dimana wilayah tersebut merupakan wilayah dengan populasi yang tinggi dan memiliki aktivitas transportasi yang padat. Ruas jalan yang akan diteliti adalah Jln.PH. Hasan Mustofa, Jln. Jend.Ahmad Yani, Jln. Kiaracandong (Ibrahim Adjie), Jln. Jakarta, Jln. Laswi, dan Jln. Gatot Subroto

Peta lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pada **Gambar 1** dapat dilihat *background* jaringan jalan di Kota Bandung, pada Wilayah Karees dan Cibeunying Kidul. Warna yang berbeda menunjukkan jalan-jalan yang perlu diteliti dalam studi ini. Titik (node) berwarna hijau tua adalah lokasi *sampling* konsentrasi NO_2 di *outdoor* dan *indoor* yang telah diteliti sebelumnya (Yudison, 2011), dan menjadi data untuk validasi model studi saat ini. Titik (node) berwarna biru adalah 100 rumah yang telah di survei wawancara sebagai *suspect* penderita asma (Purwaningrum, 2010).

Pengumpulan data primer dalam studi ini adalah survei data aktivitas transportasi, yaitu data mengenai jarak tempuh, waktu tempuh, *idling time* di tiap persimpangan yang di teliti, dan kecepatan rata-rata kendaraan di ruas jalan yang diteliti. Dilakukan pada 2 kondisi waktu yang berbeda, yaitu *weekday* dan *weekend*. *Link geometry* dari tiap jalan dan lokasi reseptor di peroleh dengan menggunakan ArcGIS 9 dan CALINE4.

Pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang dibutuhkan adalah data volume kendaraan dari penelitian sebelumnya (Sidjabat *et.al.*, 2011, Novianti, 2009, dan JICA *Report 2009*), dan kemudian di proyeksikan ke tahun 2012 dengan model eksponensial berdasarkan data sekunder dari Badan Pusat Statistik, kuota penggunaan bahan bakas (bensin dan solar) dari SPBU di kota bandung, dan data produksi kendaraan tahun 2003-2010 dari GAIKINDO. Data faktor emisi dari tiap jenis kendaraan didapat dari UK-NAEI (faktor emisi Inggris). Data meteorologi diperoleh dari stasiun pemantauan di Batununggal untuk konsentrasi *background* dan dari STIE-EKUITAS untuk arah dan kecepatan angin. **Konsentrasi *background* O_3 (ppm) sebesar 0,0149 ppm, konsentrasi *background* NO (ppm) sebesar 0,0102 ppm, dan konsentrasi *background* NO_2 (ppm) sebesar 0,0146 ppm** (Thobarony, 2011). Konstanta laju fotolisis NO_2 diperoleh dari hasil pengukuran konsentrasi NO, NO_2 , and O_3 selama tahun 1997 di Jakarta. Nilai dari konstanta laju fotolisis NO_2 ini adalah 0.00803 det^{-1} (LAPAN, 2000).

Metode prediksi konsentrasi. CALINE4 adalah software line source air quality models developed by the California Department of Transportation (Caltrans). CALINE4 didasarkan pada persamaan difusi Gaussian dan mengerjakan konsep zona pencampuran untuk mendapatkan karakteristik dispersi polutan di atas jalan (Benson, 1989). Variabel input yang diperlukan untuk memprediksi konsentrasi dispersi adalah data meteorologi, seperti kecepatan arah dan arah angin dari wind rose, data *link activity* yang terdiri dari faktor emisi komposit dan volume kendaraan per jam. Faktor emisi komposit dari NO_x dan PM_{10} (g/kendaraan-mil) dan data volume kendaraan (kendaraan per jam) di masukkan ke dalam bagian *link activity* pada

CALINE4. Faktor emisi komposit (q) dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1** (Nurrokhmah, 2010):

$$q = \sum_{i=1}^n (EF_i V_i) / T$$

Persamaan 1

, dimana EF_i adalah faktor emisi untuk jenis i kendaraan bermotor yang diperoleh dari UK-NAEI (g/vehicle-mile), V_i adalah volume dari jenis i kendaraan bermotor (kendaraan), dan T adalah jumlah total kendaraan di tiap jalan (kendaraan). Data kendaraan/jam diperoleh dari perhitungan rata-rata mingguan dari data volume kendaraan, seperti yang dapat dilihat di **Persamaan 2**:

$$\text{kendaraan/jam} = \frac{5 \text{ hari} \times \text{volume weekday} \left(\frac{\text{kend}}{\text{hari}} \right) + 2 \text{ hari} \times \text{volume weekend} \left(\frac{\text{kend}}{\text{hari}} \right)}{7 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

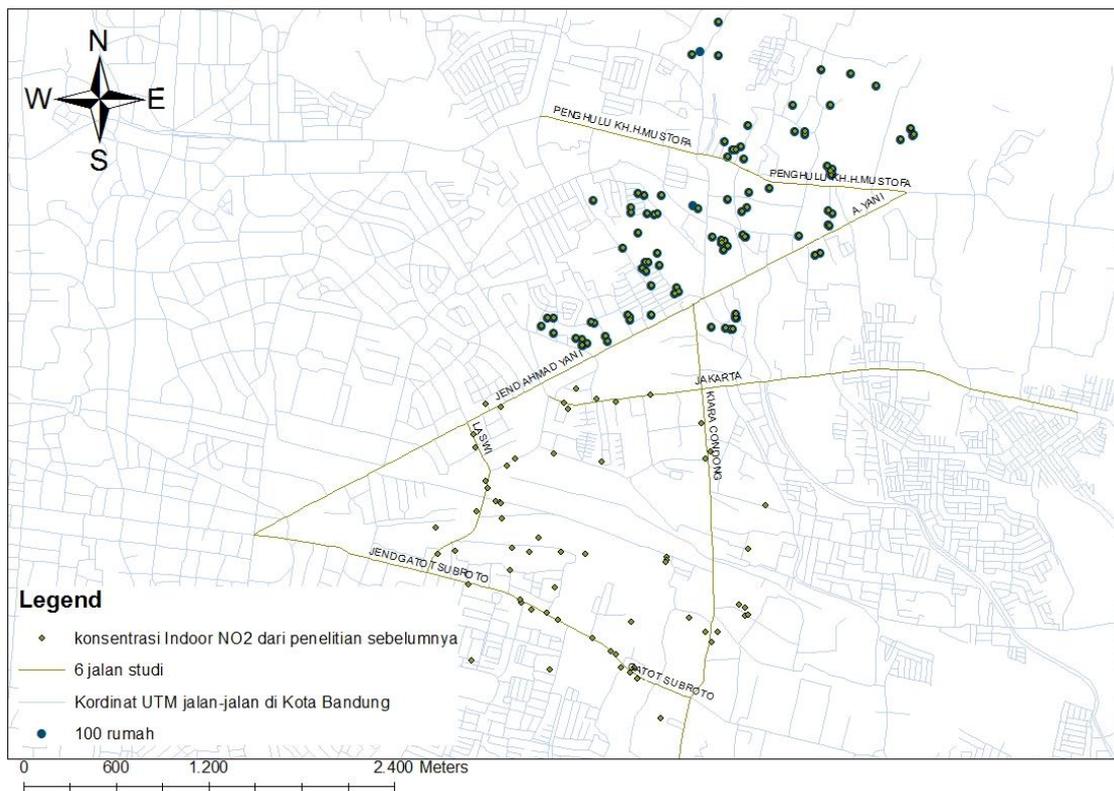
Persamaan 2

Prediksi konsentrasi *indoor* diperoleh dari model persamaan konsentrasi *indoor/outdoor* dari penelitian sebelumnya (Yudison, 2011), seperti dilihat pada **Persamaan 3** di bawah ini:

$$y = 0,857 x (\pm 0,031) + 0,126 (\pm 1,253)$$

Persamaan 3

, dengan x adalah konsentrasi NO_2 *outdoor* dan y adalah konsentrasi NO_2 *indoor*. Model ini memiliki derajat ketidakpastian sebesar 33,3 %. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi NO_2 *indoor* untuk perumahan yang terletak di dekat jalan-jalan utama, dengan tidak adanya sumber dalam rumah yang signifikan ($I/O < 1$) (Yudison, 2011). Prediksi konsentrasi NO_2 dan PM_{10} dalam rumah dilakukan dengan membuat kontur menggunakan berbagai metode interpolasi spasial, diantaranya metoda IDW (Beelen *et al.*, 2009).



Gambar 1. Peta Lokasi Studi (Wilayah Karees dan Cibeuving Kidul).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ dari model dispersi

Data *link activity* dari tiap jalan dapat dilihat pada **Tabel 1** di bawah ini. Kordinat UTM dari tiap ruas jalan diperoleh dari peta jalan-jalan di Kota Bandung. *Run* model dibagi menjadi 2 kali, karena maksimum *links* dari tiap *batch* adalah 20 *links*. Pada *batch* pertama, terdapat Jalan Ahmad Yani, Jalan Kiaracandong, Jln. Jakarta, dan Jln. PH.Mustofa yang diaktifkan untuk di *run* di model CALINE4. Pada *batch* kedua, yang diaktifkan adalah Jln. Laswi dan Jalan Gatot Subroto.

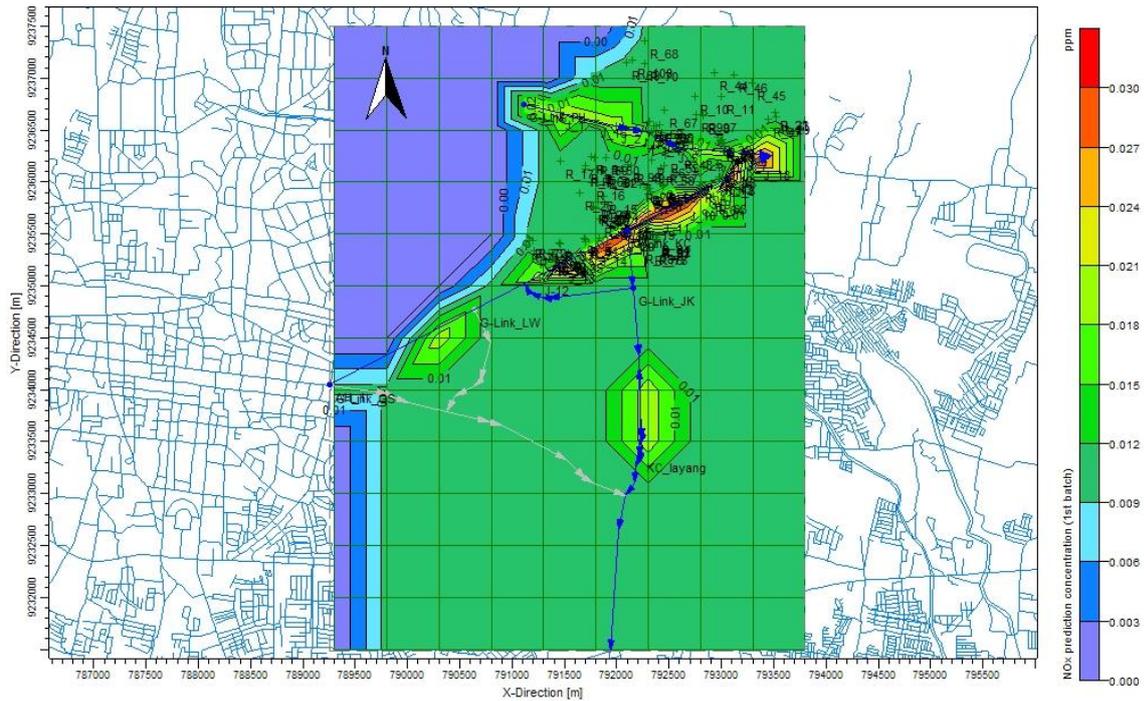
Hasil dari *batch* pertama dan kedua dari model dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** di bawah ini. Kontur pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan prediksi konsentrasi di area minimum dari semua lokasi reseptor. Pada model NO₂, konsentrasi maksimum adalah 0,03 ppm, yang terletak di dekat Jalan Ahmad Yani. Jalan Ahmad Yani memiliki faktor emisi komposit yang paling tinggi untuk NO_x, dan aktivitas kendaraan 5163 kendaraan/jam.

Tabel 1. Data *Link Activity* dari Tiap Jalan.

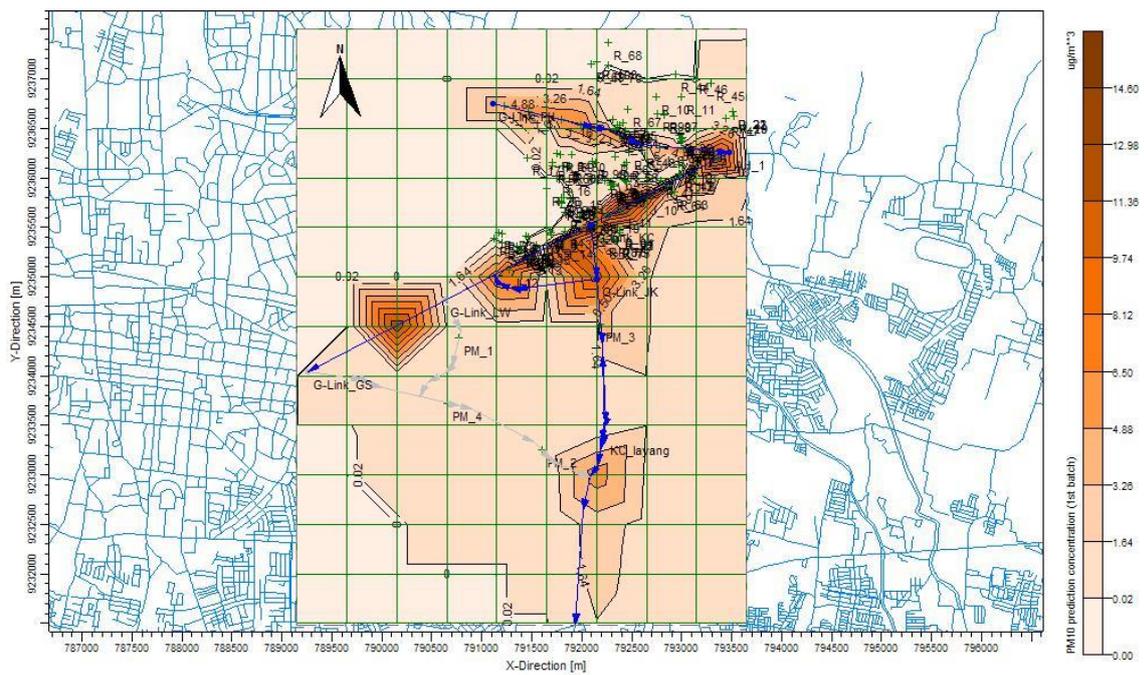
No	Nama Jalan	FE Komposit NO _x (g/kend-mil)	Kendaraan/jam	FE Komposit PM10 (g/kend-mil)
1	Ahmad Yani	1,1576	5.163	0,0498
2	PHH Mustofa	0,3637	3.905	0,0223
3	Laswi	0,1773	5.378	0,0119
4	Ibrahim Adjie	0,5815	6.968	0,0408
5	Flyover Ibrahim Adjie	0,4660	2.380	0,0290
6	Gatot Subroto	0,1964	7.410	0,0133
7	Jakarta	0,2336	4.183	0,0117

Kontribusi terbesar diterima dari jenis kendaraan truk *HGV (Heavy Goods Vehicle)* di jalan ini, diikuti oleh aktivitas bis di urutan kedua kontribusi terbesar. Pada model PM₁₀, maksimum konsentrasi adalah 14,1 µg/m³, terletak di sekitar Jln. Ahmad Yani, dan Jln. PH. Mustofa. Aktifitas kendaraan disekitar Jln. Ahmad Yani, Jln. Jakarta St., dan Jln. Ibrahim Adjie cukup tinggi seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2 (b)** di bawah.

Pada **Gambar 2 (a)** dan **(b)** dapat dilihat bahwa kontur prediksi konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ cenderung sama, karena data *link activity* sebagai input model adalah sama. Pada **Gambar 3 (a)** dan **(b)**, kontur yang dihasilkan tidak terlalu sama, kemungkinan disebabkan oleh *delta increment* yang lebar. Dari data meteorologis, diperoleh arah angin dominan bertiup dari 292,5 derajat dengan standar deviasi maksimum yang model CALINE4 sediakan yaitu 60 derajat, dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,72 m/s. Prediksi terakhir dari kelas stabilitas Pasquill adalah D (kondisi netral). Temperatur udara ambien adalah 23,3 derajat (Celcius). **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan arah dispersi konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ bertiup dari arah barat laut ke arah tenggara.

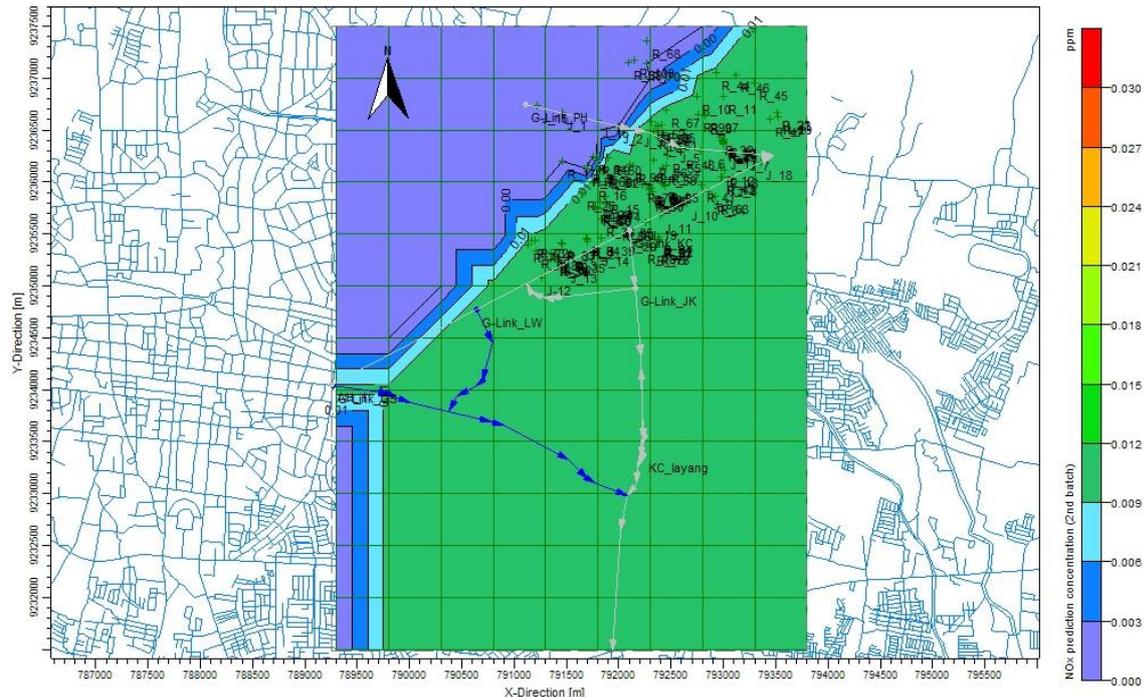


(a) Model Dispersi Konsentrasi NO_2 (batch pertama).

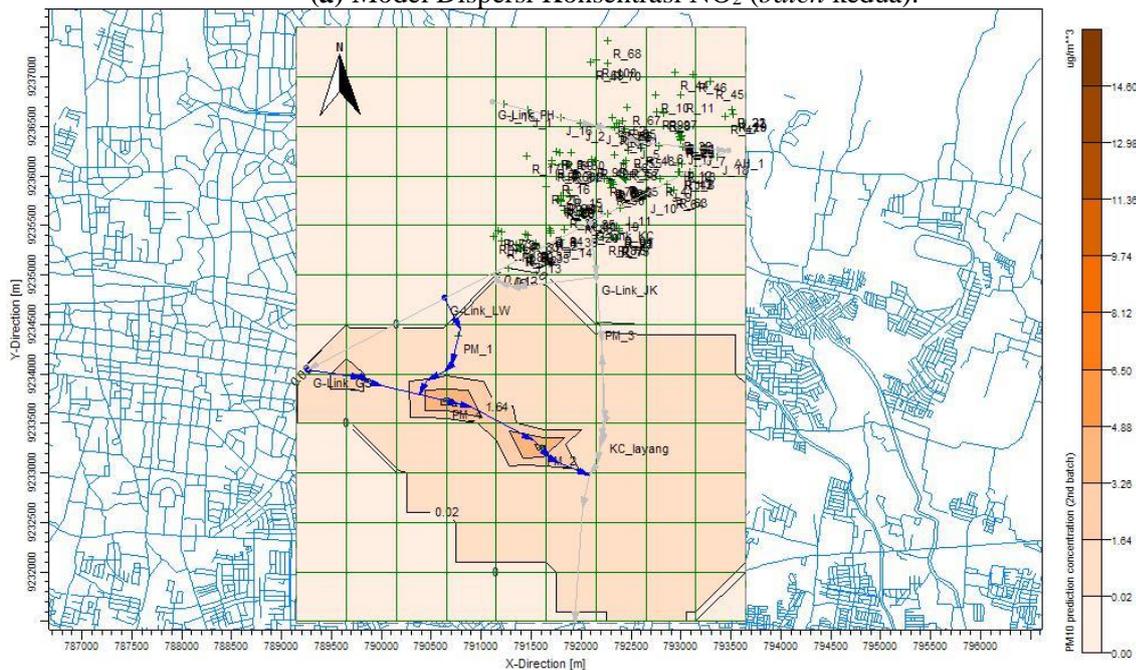


(b) Model Dispersi Konsentrasi PM_{10} (batch pertama).

Gambar 2. Hasil Model Dispersi NO_2 dan PM_{10} (batch pertama)



(a) Model Dispersi Konsentrasi NO₂ (batch kedua).



(b) Model Dispersi Konsentrasi PM₁₀ (batch kedua).

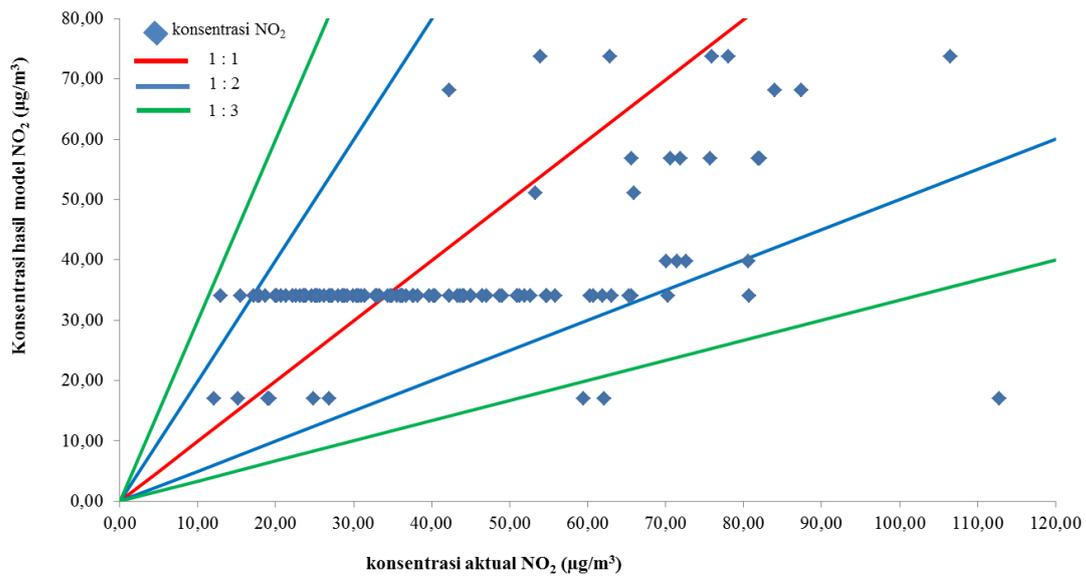
Gambar 3. Hasil Model Dispersi NO₂ dan PM₁₀ (batch kedua).

Validasi Model. Model NO₂ divalidasi dengan 120 lokasi reseptor di kawasan Cibeuang Kidul dari penelitian sebelumnya (Purwaningrum, 2010). Rata-rata persentase nilai error dari model NO₂ adalah 33,3 % dengan nilai RMSE sebesar 18,5 µg/m³. Kekurangan dari model NO₂ CALINE4 ini adalah hasil prediksi konsentrasi yang unitnya adalah dalam ppm (*parts per million*) dengan 2 desimal dibelakang koma pada laporan hasil model. Kekurangan ini semakin berdampak ketika hasil prediksi konsentrasi ini dikonversikan dari ppm ke satuan µg/m³ (satuan data validasi) Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai desimal yang lebih detail (3 angka di

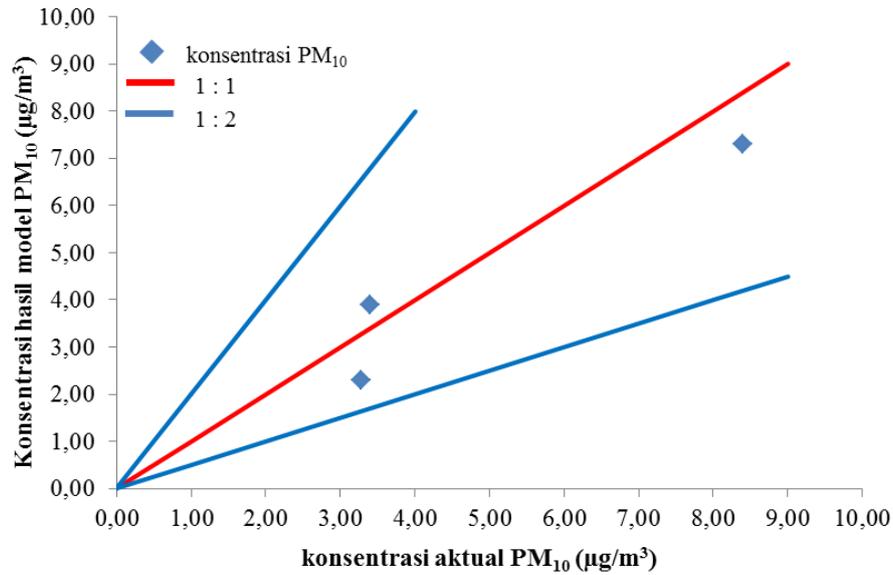
belakang koma), dilakukan pencatatan hasil dari kontur secara manual, namun tetap nilai RMSE tinggi. Kekurangan lainnya dari hasil model ini adalah hanya 6 ruas jalan yang berkontribusi mengemisikan NO₂. Kemungkinan besar, data aktual dipengaruhi juga oleh jalan arteri dan jalan kolektor lainnya di sekitar reseptor. Model PM₁₀ divalidasi menggunakan 3 reseptor di kawasan Karees dari bagian lain studi ini. Rata-rata persentasi dari nilai error model PM₁₀ sebesar 28,89 % dan nilai RMSE 1,02 µg/m³. Validasi ini menunjukkan bahwa model PM₁₀ lebih akurat daripada model NO₂. Hal ini dikarenakan lokasi reseptornya yang terletak di sekitar kawasan Karees dekat dengan jalan besar, dan secara signifikan dikontribusikan oleh keenam ruas jalan yang diteliti.

Pada **Gambar 4** dibawah, hasil plot data konsentrasi aktual-model NO₂ ada di antara garis 1:1 and 1:2. 81,67 % dari keseluruhan data memiliki nilai *error* dibawah 50 %. Pada **Gambar 5**, hasil plot data konsentrasi aktual-model PM₁₀ lebih mendekati garis 1:1. Kedua gambar hasil plot pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** menunjukkan bahwa hasil dari model prediksi konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ adalah model '*factor of two*'.

Hasil prediksi konsentrasi indoor NO₂ dan PM₁₀. Dari rasio *indoor/outdoor*(I/O) dan **Persamaan 3** diatas dapat diprediksi konsentrasi NO₂ dalam rumah di lokasi reseptor di wilayah Cibeunying Kidul. Untuk rasio I/O PM₁₀ diperoleh dari pengukuran 3 titik di wilayah Karees . Dari hasil pengukuran diperoleh persamaan untuk memprediksi konsentrasi PM₁₀ dalam rumah, dimana nilai rasio I/O nya > 1.



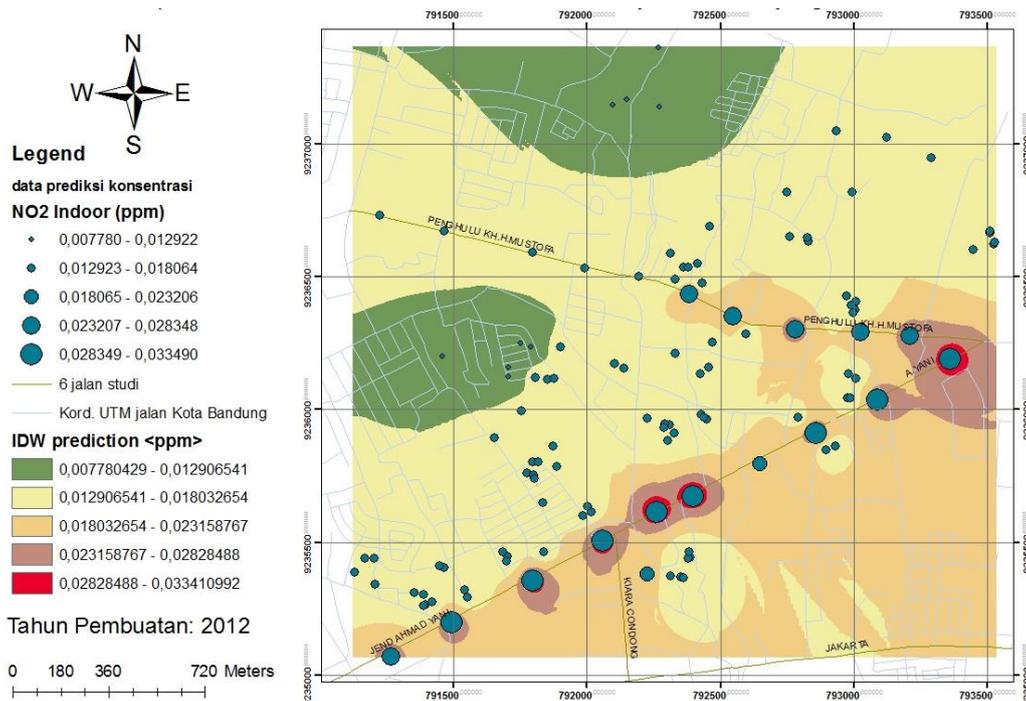
Gambar 4. Plot Data Aktual-Model Konsentrasi NO₂.



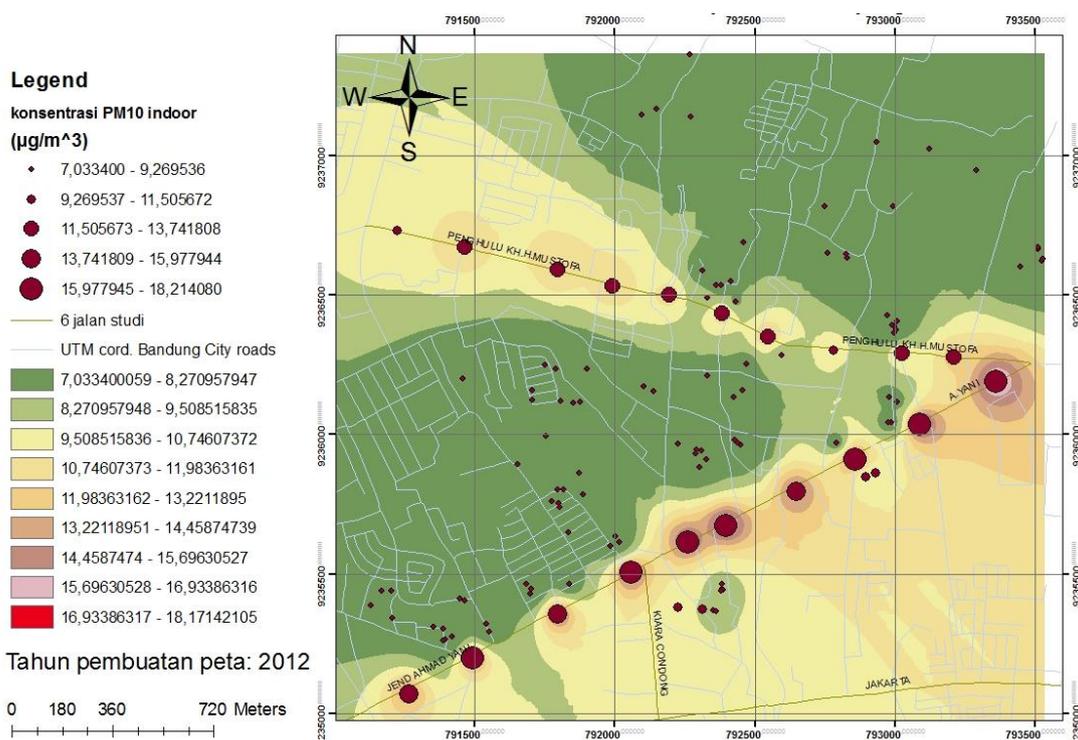
Gambar 5. Plot Data Aktual-Model Konsentrasi PM₁₀.

Nilai rasio ini menunjukkan bahwa ada sumber pencemar lain di dalam rumah yang mengemisikan PM₁₀ dengan signifikan atau terakumulasinya PM₁₀ di dalam rumah yang mempengaruhi hasil ratio yang lebih dari nilai 1 (kondisi rumah). Hasil dari pengukuran rasio I/O kemudian di plotkan dan diperoleh persamaan linear untuk memprediksi nilai konsentrasi *indoor* dari konsentrasi *outdoor*. Persamaan yang diperoleh: $y = 0,7658x + 7,0334$, dengan nilai $R^2 = 0,8703$, dimana y adalah konsentrasi *indoor*, dan x adalah konsentrasi *outdoor*. Peta prediksi konsentrasi *indoor* NO₂ dan PM₁₀ dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** dibawah ini. Nilai konsentrasi di tiap titik reseptor diinterpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) untuk melihat nilai konsentrasi di area tersebut. Pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**, dapat di lihat nilai konsentrasi paling besar secara umum terdapat pada rumah yang terletak di dekat jalan raya.

Persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi NO₂ dalam rumah, dari 100 reseptor di kawasan Cibeunying Kidul, adalah 41,44 % dan Nilai RMSE 16,32 µg/m³. Dari 3 reseptor di sekitar kawasan Karees, persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi PM₁₀ dalam rumah adalah 26,41 % dan RMSE 1,80 µg/m³. Model ini dapat ditingkatkan akurasi dengan menetapkan ketentuan dalam pemilihan reseptor untuk validasi, yaitu yang berlokasi sekitar 500 meter dari jalan-jalan yang dimodelkan.



Gambar 6. Peta Prediksi Konsentrasi NO₂ Indoor Wilayah Cibeuuying Kidul



Gambar 7. Peta Prediksi Konsentrasi PM₁₀ Indoor Wilayah Cibeuuying Kidul

KESIMPULAN

Persentase nilai kesalahan rata-rata dari model NO₂, dari 120 reseptor di kawasan Cibeuuying Kidul, adalah 33,3 % dan Nilai RMSE 18,5 µg/m³. Dari 3 reseptor di sekitar kawasan Karees, persentase nilai kesalahan rata-rata dari model PM₁₀ adalah 28,89 % dan RMSE 1,02 µg/m³. Model konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ adalah model 'factor of two'. Persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi NO₂ dalam rumah, dari 100 reseptor di kawasan Cibeuuying Kidul,

adalah 41,44 % dan Nilai RMSE 16,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari 3 reseptor di sekitar kawasan Karees, persentase nilai kesalahan rata-rata dari model konsentrasi PM_{10} dalam rumah adalah 26,41 % dan RMSE 1,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi NO_2 dan PM_{10} dalam rumah di setiap reseptor untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ikatan Alumni Institut Teknologi Bandung yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Hibah Riset IA ITB Periode 2011-2012: Analisa Biaya Ekonomi Dampak Pencemaran Udara dari Sektor Transportasi Akibat Gangguan Pernafasan

DAFTAR PUSTAKA

- Beelen, R., Hoek, G., Pebesma, E., Vienneau, D., Hoogh, K.d., Briggs, D. J. 2009, *Mapping of background air pollution at a fine spatial scale across the European Union*. Science of Total Environment 407 (2009) 1852 – 1867.
- Dijkema, Marieke. 2011. *Traffic Related Air Pollution: Spatial Variation, Health Effects and Mitigation Measures*. Thesis Utrecht University. ISBN: 978-90-5335-476-6.
- Fernando, Dimitrova, Hedquist, et.al., 2008. *Children's Health Project: Linking PM_{10} to Asthma in central Phoenix*. Arizona State University, School of Computing and Informatics, Environmental Fluid Dynamics.
- JICA. 2009. FINAL REPORT: *Preparatory Survey for Bandung Intra Urban Toll Road Project*. NIPPON KOEI CO., LTD.
- LAPAN, 2000. *Proses Fotokimia Atmosfer Laju Fotolisis NO_2 dan Fotoketunakan $\text{NO}/\text{NO}_2/\text{O}_3$ Studi Kasus di Jakarta*. Warla LAPAN, Vol.2, No.I, Januari-Maret 2000.
- Lindley, S.J., Conlan, D.E., Raper, D.W., Watson, A.F.R. 1999. *Estimation of Spatially Resolved Road Transport Emission For Air Quality Management Application In The North West Region Of England*. The Science Of The Total Environment, 235, pp. 119-132
- Morra P., Spadoni G. 2008. *The Use of Air Criteria Pollutants in Analyzing Long-term Exposure Health Risks*. University of Bologna, Department of Chemical, Mining and Environmental Engineering, Italy. Chemical Engineering Transactions, Volume 13, 2008. ISBN 978-88-95608-07-5.
- Novianti, Srikandi. 2009. *Inventarisasi dan Pemetaan Emisi Oksida Nitrogen dari Sektor Transportasi*. Tugas Akhir Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, ITB.
- Nurrokhmah, Laila. 2010. *Pemodelan Konsentrasi Oksida Nitrogen dari Emisi Transportasi pada Jalan Utama di Wilayah Karees dengan menggunakan CALINE4*. Tugas Akhir Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, ITB.
- Purwaningrum, 2010. *Pengukuran Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) di dalam Rumah serta Hubungannya terhadap Penyakit Asma*. Tugas Akhir Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, ITB.
- Sidjabat F., Driejana, and Ade Sjafruddin. 2011. *Transport-Induced Emission Load baseline in Pasteur-Cileunyi and Ujungberung-Gedebage Route*. Jurnal Transportasi FSTPT 201 (dipresentasikan dalam *The 14th FSTPT International Symposium, Pekanbaru, 11-12 November 2011*)
- Skene, K. J., Gent, J. F., McKay, L. A., Belanger, Kathleen, et. al. 2010. *Modeling effects of traffic and landscape characteristics on ambient nitrogen dioxide levels in Connecticut*. Atmospheric Environment 44 (2010) 5156 – 5164.
- Thobarony, 2011. *Pemodelan Pengaruh Program Car Free Day (CFD) di Jalan Dago terhadap Konsentrasi NO_2 di Udara Ambien*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.

- Tiwary, *et al*, 2009. *An integrated tool to assess the role of new planting in PM10 capture and the human health benefits: A case study in London*. *Environmental Pollution* 157 (2009) 2645–2653.
- Weinmayr, Romeo, De Sario, Weiland, Forastiere, 2010. *Short-Term Effects of PM₁₀ and NO₂ on Respiratory Health among Children with Asthma or Asthma-like Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Environmental Health Perspectives*: Volume 118, Number 4, April 2010.
- Westerdahl, Dane, and Xing Wang, Xiaochuan Pan, K. Max Zhang. 2009. *Characterization of On-road Vehicle Emission Factors and Microenvironmental Air Quality in Beijing, China*. *Atmospheric Environment* 43 pp. 697–705.
- Yudison, Driejana. 2011. *Modeling of Outdoor NO₂ Concentration to Predict Traffic Emission Influence to Indoor Air Quality in Houses Near Major Roads*. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*. Vol.8, 2011.