

ISSN : 0854 – 4778

# PROSIDING

Seminar Nasional Ke 56

**TEMU-ILMIAH JARINGAN KERJASAMA KIMIA INDONESIA**

**Seminar Nasional XIX**

**KIMIA DALAM PEMBANGUNAN**

**“Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia”  
(Hotel Phoenix Yogyakarta 26 Mei 2016)**



## REDAKSI:

<b>Ketua merangkap anggota</b>	<b>:</b>	<b>Prof. Dr. Sigit, DEA</b>
<b>Sekretaris merangkap anggota</b>	<b>:</b>	<b>Sihono</b>
<b>Anggota</b>	<b>:</b>	<b>Ir. Prayitno., MT., Pen. Utama</b> <b>Drs. Sutjipto., MS</b> <b>Dra. Susanna TS., MT</b> <b>Imam Prayogo., ST</b>

**Diterbitkan 12 Agustus 2016**

**Oleh**

**JARINGAN KERJASAMA KIMIA INDONESIA**

**YAYASAN MEDIA KIMIA UTAMA**

**Akta No : 24/15/IV/1993**

**REFEREE / DEWAN PENELAAH :**

Prof. Drs. I Nyoman Kabinawa, MM, MBA	Mikrobiologi ( <i>Microbiology</i> )
Prof. DR., Ir., Drs., Kris Tri Basuki., M.Sc.	Ilmu Separasi ( <i>Separation Sciences</i> ), Teknologi Sopgrasi dan Membran ( <i>Membrane and Separation Tech- nology</i> )
Prof. Drs.Sukandi Nasir, MM	Acrodinamika, Teknik Ruang Angkasa Lainnya/ Bahan Bakar Roket ( <i>Aerospace Engineering not elsewhere classified</i> )
Wisnu Susetyo, Ph.D	Jaminan Kualitas, Ilmu-ilmu Kimia Lainnya/ Managemen Mutu laborato- rium Kimia ( <i>Chemical Sciences not elsewhere Classified</i> )
DR. Bambang Setiaji	Kimia Bahan Solid ( <i>Solid State Chemistry</i> ), Katalis Kimia ( <i>Chemistry of Catalyses</i> ) dan ilmu-ilmu Anorganik lainnya ( <i>Non-Organic Chemistry not elsewhere classified</i> )
DR. Eko Sugiharto	Kimia Lingkungan, Jaminan Kualitas ( <i>Quality Assurance</i> )
Prof. DR.Ir. Sigit, DEA	Simulasi dan Kontrol Proses, Design Teknik Kimia ( <i>Chemical Engineering Design</i> ) dan teknik Kimia Lainnya ( <i>Other Chemical Engineering not elsewhere Classified</i> )
Drs. Sutjipto, MS, Pen.Utama	Kimia Lingkungan, Energy dan Termodinamika Kimia. Kimia Organik Fisik, Ilmu-ilmu kimia Lainnya ( <i>Chemical Sciences not elsewhere classified</i> )
Ir. Ary Achyar Alfa, M.Si, Pen.Utama	Polimer, karakterisasi makromolekul, Mekanisme Polimerisasi ( <i>Polymer- ization Machanism</i> ) dan Teknik Bahan Lainnya ( <i>Other Material Engineering not elsewhere classified</i> )
Ir. Erfin Yundra Febrianto, MT, Pen.Utama	Ilmu Bahan dan Proses/ Teknik Bahan Lainnya ( <i>Other Moterial Engineering not elsewhere classified</i> )
DR. Ir. Mahyudin Abdul Rakhman M.Eng, Pen.Utama	Teknik Biokimia ( <i>Other Chemical Engineering not elsewhere classified</i> )
DR. Djoko Santoso, Pen. Utama	Bioteknologi ( <i>Biotechnology</i> )

**SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA**

Ketua I	:	Wisnu Susetyo, Ph.D.
Ketua II	:	DR. Eko Sugiharto
Ka. Dept. Diklat.	:	Ir. Prayitno., MT, Pen.Utama
Sekretaris	:	Sihono
Bendahara	:	Imam Prayogo, ST
Anggota	:	Prof. DR. Ir. Sigit, DEA Drs. Sutjipto., MS Dra. Susanna TS., MT. Ashar Andrianto., ST

## KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan Rahmat dan HidayahNya sehingga dapat kami susun dan terbitkan sebuah Prosiding hasil **Seminar Nasional XIX “Kimia dalam Pembangunan”** dengan tema “Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia” yang telah terselenggara dengan baik pada tanggal **26 Mei 2016** di Hotel Phoenix Yogyakarta.

*Seminar Nasional XIX “Kimia dalam Pembangunan” diselenggarakan oleh Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, sebagai organisasi Profesi berbadan Hukum dengan kegiatan menyelenggarakan Seminar, Lokakarya, Konperensi dan Pelatihan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi kimia.*

Seminar Nasional XIX “Kimia dalam Pembangunan” ini dihadiri oleh 76 orang peserta. Yang berasal dari berbagai institusi yaitu:

No.	Institusi	Jumlah makalah
01	Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat,	11
02	Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten	12
03	Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI, Jalan Raya Bogor Km. 46, Cibinong. 16911.Puspitek,	11
04	Teknik Elektro Institut, Teknologi Indonesia ,Tangerang Selatan	1
05	Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan, Badan Litbang Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI; Jakarta	10
06	Pusat Survei Geologi ( Badan Geologi), Jl. Diponegoro 57, Bandung	1
07	Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara – Bandung, Jalan Jenderal Sudirman No 623, Bandung 40211.	10
08	Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI, Komplek LIPI , Jl. Sangkuriang Gd.70, Bandung 40135	8
09	Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna LIPI, Jl. KS. Tubun No. 5 , Subang	31
10	Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN	2
11	Laboratorium Palinologi, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung	1
12	Badan Litbang Kesehatan, Kementrian Kesehatan, Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	3
13	Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Dan Pelayanan Kesehatan. Badan Penelitian dan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI; Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	2
14	Puslitbang Upaya Kesehatan Masyarakat, Badan Litbangkes, Kementerian Kesehatan RI, Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	1
15	Puslitbang Sumber Daya dan Pelayanan Kesehatan, Badan Litbang Kesehatan, Kemenkes RI, Jakarta	1

Sebanyak 75 (Tujuh puluh lima) makalah yang dipresentasikan pada Seminar nasional XIX “Kimia dalam Pembangunan” yang telah diselenggarakan pada tanggal 26 Mei 2016 tersebut diatas, dan setelah melalui penilaian oleh Referee diterbitkan dalam 1 (satu) buku prosiding.

Suatu hal yang menggembirakan bahwa sesuai dengan tujuannya Seminar ini telah dapat menjadi media komunikasi bagi rekan Kimiawan/Kimiawati yang berkarya di berbagai bidang yang berbeda.

Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia (JASAKIAI) sebagai pihak penyelenggara seminar, dengan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua peserta dan pembawa makalah yang telah berpartisipasi dalam Seminar dan aktif memberikan masukan-masukan yang bermanfaat bagi semua pihak. Seluruh Dewan Penelaah yang telah membantu dalam seleksi dan peningkatan mutu makalah untuk bisa dipublikasikan, seluruh anggota dewan redaksi yang telah bekerja keras untuk menyusun dan menerbitkan prosiding ini, serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelenggaraan seminar sampai dapat diterbitkannya prosiding ini.

Besar harapan kami bahwa Prosiding ini akan banyak berguna bagi para Pembaca semua rekan seprofesi, serta akan dapat menjadi acuan dan titik tolak untuk mencapai kemajuan yang lebih besar bagi perkembangan Ilmu Kimia dan terapannya di Indonesia. Kami menyadari bahwa dalam penyelenggaraan Seminar dan pembuatan Prosiding ini tidak lepas dari berbagai kekurangan. Untuk itu, kami mohon maaf dan kritik serta saran yang bersifat membangun demi perbaikan dimasa datang selalu kami harapkan dari Rekan Sejawat dan Pembaca yang budiman.

Yogyakarta, 12 Agustus 2016

**Redaksi**

## DAFTAR ISI

NO.	DAFTAR ISI	HALAMAN
	HALAMAN JUDUL	i
	REFREE/DEWAN PENELAAH	iii
	SUSUNAN PANITIA	iv
	PENGANTAR	v-vi
	DAFTAR ISI	vii-xii
1.	PENGETAHUAN, SIKAP DAN PERILAKU MASYARAKAT TENTANG TUBERKULOSIS KAITANNYA DENGAN KEBERSIHAN LINGKUNGAN <b>Suharjo dan Dina Bisara</b>	1 - 8
2.	STUDI POTENSI PEMBAKARAN SPONTAN BEBERAPA BATUBARA INDONESIA <b>Datin Fatia Umar dan Gandhi Kurnia Hudaya</b>	9 - 16
3.	PENGARUH PENAMBAHAN $ZrO_2$ TERHADAP SIFAT TERMAL KITOSAN SEBAGAI BAHAN LAPISAN TIPIS ELEKTROLIT BATEREI ISI ULANG <b>Sugik Sugiantoro, Evi Yulianti</b>	17 - 22
4.	AKTIVITAS ANTIBAKTERI MADU DAN TEH HIJAU ( <i>Camellia sinensis</i> L.) DIIRADIASI SINAR GAMMA PADA <i>Staphylococcus aureus</i> DAN <i>Salmonella typhi</i> <b>Nikham dan Darmawan Darwis</b>	23 - 32
5.	BAHAN <i>SLOW RELEASE</i> MULTI FUNGSI UNTUK PUPUK POSFAT BERBASIS POLIMER ALAM DENGAN TEKNIK RADIASI <b>A. Sudradjat<sup>1</sup>, Gatot Trimulyadi Rekso<sup>1</sup> dan Nisa Rabriella<sup>2</sup></b>	33 - 40
6.	INFRASTRUKTUR SIMBAT UNTUK MENINGKATKAN ADAPTASI PULAU KECIL TERHADAP DAMPAK INTRUSI AIR LAUT (STUDI PENDAHULUAN DI PULAU PARI) <b>D. Marganingrum, E.P Utomo, Saiman, A.F Rusydi, A. Purwoarminta, W. Ningrum</b>	41 - 50
7.	EFEK IRADIASI SINAR GAMMA DAN PENYIMPANAN PADA AKTIVITAS ANTIMIKROBA EKSTRAK ETIL ASETAT MENGGUDU ( <i>Morinda citrifolia</i> L.) TERHADAP <i>Salmonella typhi</i> DAN <i>Pityrosporium ovale</i> <b>Nikham dan Darmawan Darwis</b>	51 - 60
8.	PENGARUH PENAMBAHAN $ZrO_2$ TERHADAP SIFAT TERMAL KITOSAN SEBAGAI BAHAN LAPISAN TIPIS ELEKTROLIT BATEREI ISI ULANG <b>Sugik Sugiantoro, Evi Yulianti</b>	61 - 68
9.	KARAKTERISASI $LiFePO_4$ DAN $LiMn_2O_4$ SEBAGAI BAHAN KATODA BATERAI Li-ION <b>Deswita dan Indra Gunawan</b>	69 - 74
10.	RADIOAKTIVITAS EFLUEN GAS TERLEPAS DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR JENIS REAKTOR AIR BERTEKANAN <b>Nurokhim</b>	75 - 82

NO.		HALAMAN
11.	KESTABILAN WADUK SAGULING DITINJAU DARI ASPEK KUALITAS AIRNYA <b>Dyah Marganingrum<sup>1</sup>, M. Rahman Djuwansah<sup>1</sup>, dan Anna Fadiah Rusydi<sup>1</sup></b>	83 - 90
12	MODIFIKASI KATION METAL DAN SEMI-METAL ZEOLIT ALAM DENGAN INHIBITOR Cu MELALUI METODA ASAM-AMONIFIKASI : SEBAGAI PERSIAPAN BAHAN PRODUK FARMASI <b>Dewi Fatimah</b>	91 - 98
13	STUDI KETERCUCIAN BATUBARA UNTUK PROSES GASIFIKASI DAN PEMBAKARAN <b>Datin Fatia Umar</b>	99 - 106
14	APLIKASI MODEL PLUME GAUSSIAN UNTUK MONITORING PENCEMARAN LINGKUNGAN <b>Nurokhim</b>	107 - 116
15	STUDI MORFOLOGI GRAFIT SEBAGAI BAHAN ANODA BATERAI LI-ION DENGAN MENGGUNAKAN SEM DAN TEM <b>Indra Gunawan, Deswita</b>	117 - 122
16	KAPABILITAS HIDROGEL SELULOSA/POLIVINIL ALKOHOL IRADIASI UNTUK ELIMINASI ION LOGAM Ag <sup>+</sup> , Cu(II) dan Fe(II) DALAM LARUTAN <b>Ambyah Suliwarno* dan Bayu Prasetyo Aji**</b>	123 - 128
17	KAJIAN SIFAT KIMIA DAN FISIKA CAMPURAN BATUBARA-BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) <b>Ikin Sodikin dan Datin Fatia Umar</b>	129 - 136
18	PENYAKIT MENULAR TUBERCULOSIS DAN HUBUNGANNYA DENGAN LINGKUNGAN TEMPAT TINGGAL PADAT HUNI <b>Merryani Girsang, Dina Bisara Lolong, Lamria Pangaribuan</b>	137 - 142
19	HASIL PENGUJIAN MIKROBA ( <i>Salmonella Sp</i> dan <i>Enterobacteriaceae</i> ) PADA BEBERAPA SUSU FORMULA BAYI <b>Ani Isnawati*, Sukmayati Alegantina*</b>	143 - 148
20	EFEK TEMPERATUR SINTER PADA KOMPOSIT Ba <sub>(1,7)</sub> Sr <sub>(0,3)</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <b>Safei Purnama<sup>1)</sup> dan P. Purwanto<sup>1)</sup></b>	149 - 154
21	GEOKIMIA BATULEMPUNG FORMASI JATILUHUR : IMPLIKASINYA TERHADAP BATUAN INDUK HYDROKARBON, STUDI KASUS DAERAH PURWAKARTA <b>Praptisih</b>	155 - 160
22	PENGARUH SUHU SINTER TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN MAGNET PADA KOMPOSIT Ba <sub>(2-x)</sub> Sr <sub>(x)</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <b>P Purwanto<sup>1)</sup>, Mashadi<sup>1)</sup> dan Tria Madesa<sup>1)</sup></b>	161 - 166
23	KOPOLIMERISASI CANGKOK LEMBARAN SELULOSA DENGAN TEKNIK IRADIASI <b>Gatot Trimulyadi Rekso</b>	167 - 174
24	PENELITIAN KARAKTER BATUBARA CARINGIN GARUT SEBAGAI PENUNJANG PEMBUATAN BRIKET <b>Widodo<sup>1)</sup>, Dewi Fatimah<sup>1)</sup>, dan Lenny Marilyn Estiaty<sup>1)</sup></b>	175 - 182

## APLIKASI MODEL PLUME GAUSSIAN UNTUK MONITORING PENCEMARAN LINGKUNGAN

Nurokhim

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN  
nurokhim@batan.go.id

### ABSTRAK

*APLIKASI MODEL PLUME GAUSSIAN UNTUK MONITORING PENCEMARAN LINGKUNGAN. Model plume gaussian merupakan model yang banyak digunakan untuk menentukan distribusi pencemaran udara dari sumber polusi ke lingkungan. Makalah ini membicarakan tentang model plume gaussian, penyelesaian matematik serta implementasinya dalam MATLAB. Selanjutnya, model diuji dan diaplikasikan untuk perhitungan distribusi pencemaran udara. Data riil lepasan gas dan partikulat radioaktif ke udara dari cerobong PT.INUKI di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) digunakan sebagai bahan untuk simulasi dan pengujian aplikasi. Hasil simulasi dan pengujian menunjukkan bahwa model dapat digunakan dengan baik.*

*Kata Kunci : model, gaussian, monitoring lingkungan.*

### ABSTRACT

*APPLICATION OF GAUSSIAN PLUME MODEL FOR MONITORING ENVIRONMENTAL POLLUTION. Gaussian plume model is a model that is widely used for determination of air pollution distribution from sources to the environment. This paper talks about gaussian plume models, mathematical solution and its implementation in MATLAB. Futhermore, the model tested and used for the calculation of distribution of air pollution. Real data release of radioactive gas and particulate from exhaust stack of PT.INUKI in Kawasan Nuklir Serpong (KNS) used as a material for simulation and testing. The simulation and testing results indicates that the model can be used properly.*

*Keywords : model, gaussian, environment monitoring.*

### PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan merupakan persoalan serius yang dihadapi manusia. Pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan wilayah perkotaan [1], telah mengubah jumlah dan pola konsumsi kebutuhan hidup manusia. Peningkatan konsumsi, produk industri serta kebutuhan energi mendorong terjadinya eksploitasi sumber daya alam. Penggunaan produk industri, pembangkitan energi maupun transportasi cenderung meningkatkan kadar cemar di udara seperti: CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, serta gas rumah kaca CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. Data WHO menunjukkan bahwa polusi udara meningkat 8% dalam lima tahun terakhir [2]. Peningkatan pemakaian produk berbasis kimia oleh industri telah meningkatkan produk limbah berbahaya dan beracun. Tingginya resiko pencemaran lingkungan oleh industri menuntut dikembangkannya sistem pembuangan yang aman dengan risiko yang sekecil mungkin bagi lingkungan

hidup, kesehatan, dan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya [3].

Peningkatan pencemaran lingkungan akan menaikkan resiko kesehatan. Studi Pruss-Ustun dkk. di tahun 2012 memperkirakan bahwa 12,6 juta (22,7%) kematian manusia terkait masalah lingkungan [4]. World Health Organisation (WHO) menyatakan bahwa polusi udara menyebabkan 7 juta kematian per tahun, dengan perkiraan 3 juta lebih kematian karena polusi udara global (*outdoor*) [5,6]. Angka tersebut menempatkan polusi udara sebagai pemberi risiko terbesar penyebab kematian manusia. Karena itu monitoring dan pengendalian pencemaran udara merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan.

Hal paling krusial dalam monitoring dan pengendalian pencemaran lingkungan adalah menentukan lokasi monitoring yang tepat dari sumber pelepasan cemar. Penentuan lokasi ini sangat penting ketika penyebaran polutan terjadi di wilayah yang sangat luas, dimana

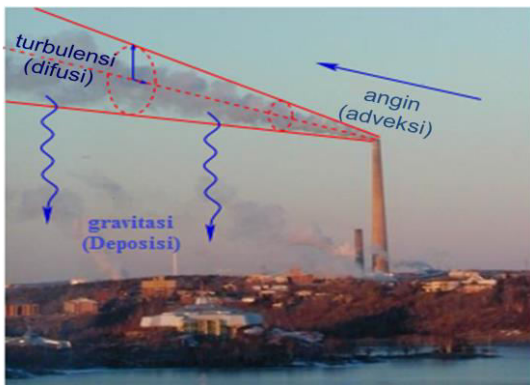


pemantauan tidak akan dapat dilakukan di seluruh wilayah yang tercemari. Penentuan lokasi pengambilan data sampling yang tepat dengan mempertimbangkan data meteorologi, akan mengoptimalkan pemantauan yang dilakukan. Pengembangan sebuah model matematis yang memperlihatkan bagaimana distribusi penyebaran cemaran dari sumber ke lingkungan berdasar data meteorologi akan sangat membantu dalam menentukan lokasi pemantauan.

Makalah ini memaparkan proses pengembangan model plume gaussian, model yang banyak di adopsi oleh software-software komersial maupun *freeware* dalam perhitungan distribusi penyebaran gas dan partikulat dari sumber pencemar ke lingkungan. Proses pengembangan dimulai dari model fisik lepasan polutan dari cerobong, penurunan model matematik, dan implementasi pembuatan aplikasi dalam MATLAB.

## METODOLOGI

Model fisik *Superstack* yang berdiri di tengah kota Sadbury seperti Gambar 1 digunakan sebagai ilustrasi emisi gas atau partikulat dari cerobong industri. Dari gambaran fisik tersebut maka data meteorologi yang diperlukan sebagai parameter dalam pemodelan ini diantaranya adalah kecepatan dan arah angin, dan stabilitas atmosfer (turbulensi).



Gambar 1. Emisi gas/partikulat dari *superstack* di Sadbury, Ontario, Canada [7].

Model *Gaussian plume* diturunkan dari konservasi massa, untuk kontaminan tunggal konsentrasi masa (kerapatan) pada lokasi  $\vec{x} = (x, y, z) \in R^3$  dan waktu  $t \geq 0$  dapat dinyatakan dengan fungsi  $C(\vec{x}, t)$  [ $\text{kg m}^{-3}$ ]. Hukum konservasi masa untuk  $C$  dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial [7,8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = S \quad (1)$$

Dimana  $S(\vec{x}, t)$  [ $\text{kg m}^{-3} \text{ detik}^{-1}$ ] adalah suku sumber atau penyerap dan fungsi vektor  $\vec{J} = (\vec{x}, t)$  menyatakan flux massa [ $\text{kg m}^{-3} \text{ detik}^{-1}$ ] kontaminan dari proses difusi dan adveksi. Difusi flux sebanding dengan gradien konsentrasi atau  $\vec{J}_D = -K \nabla C$ , dengan koefisien difusi  $K(\vec{x}) = \text{diag}(K_x, K_y, K_z)$  [ $\text{m}^2 \text{ detik}^{-1}$ ] adalah difusivitas turbulensi angin yang umumnya merupakan fungsi jarak lokasi. Flux massa adveksi linier dari pergerakan angin dapat dinyatakan sebagai  $\vec{J}_A = C \vec{u}$ , dimana  $\vec{u}$  kecepatan angin. Dengan demikian didapat flux masa total:

$$\vec{J} = \vec{J}_D + \vec{J}_A = C \vec{u} - K \nabla C. \quad (2)$$

Substitusi ke konservasi massa persamaan (1) didapatkan persamaan tiga dimensi (3D) difusi-adveksi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \vec{u}) = \nabla \cdot (K \nabla C) + S \quad (3)$$

atau secara lengkap dapat ditulis:

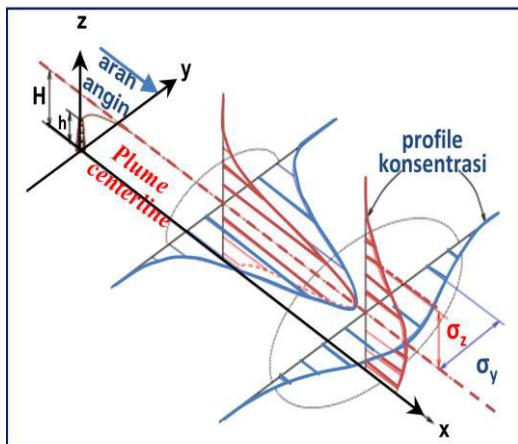
$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + S \quad (4)$$

Selanjutnya dibuat asumsi-asumsi sebagai berikut:

- 1: Kontaminan berupa sumber titik, terlepas dengan laju konstan  $Q$  [ $\text{kg detik}^{-1}$ ] di lokasi  $\vec{x} = (0, 0, H)$  ketinggian  $H$  diatas permukaan tanah seperti Gambar 2. Suku sumber  $S$  ditulis:

$$S(\vec{x}) = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H) \quad (5)$$

- H dalam hal ini adalah tinggi efektif stek dan  $\delta(\cdot)$  fungsi delta dirac.
- 2: Kecepatan angin konstan kearah sumbu  $x$ , sehingga  $\vec{u} = (u, 0, 0)$  untuk  $u \geq 0$ .
- 3: Solusi *steady state*, kecepatan angin dan parameter lainnya independen, tidak tergantung waktu.
- 4: Difusivitas turbulensi hanya fungsi jarak searah angin (*downwind*) dan isotropik, sehingga  $K_x(x) = K_y(x) = K_z(x) = K(x)$ .
- 5: Kecepatan angin cukup besar, difusi arah- $x$  jauh lebih kecil dari adveksi; sehingga suku  $K_x \partial_x^2 C$  dapat diabaikan.
- 6: Variasi topografi diabaikan sehingga konsentrasi dipermukaan dapat diambil pada  $z = 0$ .
- 7: Tidak ada proses deposisi.



**Gambar 2.** Plume Gaussian, kontaminan lepas dari sumber titik kontinu.

Dengan asumsi-asumsi 1-6, maka persamaan (4) direduksi menjadi:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = K \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H) \quad (6)$$

Persamaan (6) berlaku untuk  $x, z \in \{0, \infty\}$  dan  $y \in \{-\infty, \infty\}$ . Dengan menerapkan beberapa syarat batas, seperti:

$$\begin{aligned} C(0, y, z) &= 0, & C(\infty, y, z) &= 0. \\ C(x, \pm\infty, z) &= 0, & C(x, y, \infty) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

maka didapat solusi analitik eksak, persamaan gaussian:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (8)$$

- $Q$  = laju lepasan sumber polutan ( $g \text{ detik}^{-1}$ ).
- $u$  = kecepatan angin rata-rata pada ketinggian cerobong,  $m \text{ detik}^{-1}$ .
- $x$  = jarak searah angin (*downwind*), m.
- $y$  = jarak melintang (*crosswind*) dari garis pusat plume, m.
- $z$  = jarak vertikal dari *ground level*, m.
- $H$  = tinggi efektif pelepasan polutan (m).
- $\sigma_y$  = parameter stabilitas horisontal (fungsi  $x$  dan Stabilitas).

$\sigma_z$  = parameter stabilitas vertikal (fungsi  $x$  dan Stabilitas).

Persamaan eksak Gaussian *steady state* (8) diatas digunakan untuk menghitung akumulasi distribusi dengan menyediakan data masukan dalam satu selang waktu  $T$  (*detik*). Perhitungan akumulasi konsentrasi dilakukan dengan mengganti nilai laju lepasan  $Q$  dengan  $QT$  [9].

Tinggi efektif ( $H$ ) lepasan dihitung berdasarkan rumusan Briggs [10] [11]:

$$\Delta h = h + 2,6 \left( \frac{F}{u.S} \right)^{1/3} \quad (9)$$

Dimana  $h$  adalah tinggi fisik cerobong,  $u$  kecepatan angin pada ketinggian cerobong  $h$ ,  $S$  parameter stratifikasi stabilitas atmosfer, dan  $F$  adalah *bouyancy* yang dihitung dengan persamaan:

$$F = \frac{g(T_s - T_a)V_s d_s^2}{4T_s} \quad (10)$$

Parameter stabilitas horisontal ( $\sigma_y$ ) dan vertikal ( $\sigma_z$ ) dihitung dengan rumus empirik Pasquill-Gifford (P-G) [12][13]:

$$\sigma_y = 465,11628(x) \tan(TH) \quad (11)$$

dimana

$$TH = 0,017453293[c - d \ln(x)] \quad (12)$$

dan

$$\sigma_z = aX^b \quad (13)$$

Koefisien  $c$  dan  $d$  dari persamaan (12) tergantung pada stabilitas atmosferik, diberikan pada Tabel 1 yang merupakan data empiris hasil eksperimen Pasquill-Gifford, 1961. Sedangkan koefisien  $a$  dan  $b$  pada persamaan (13) tergantung stabilitas dan jarak lokasi  $x$  dari cerobong, seperti Tabel 2 yang merupakan data empiris hasil penelitian peneliti yang sama.

Tabel 1. Koefisien dispersi horisontal P-G.

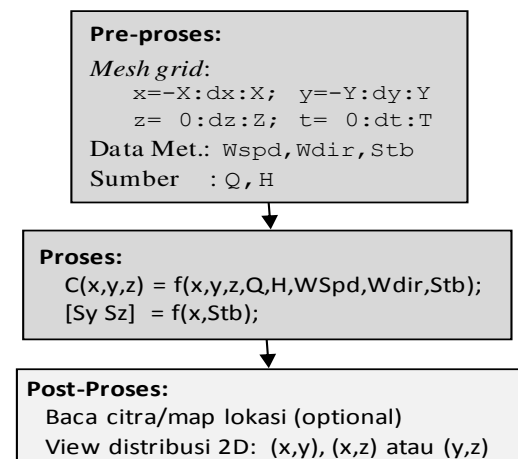
Stabilitas	c	d
A	24,1670	2,5334
B	18,3330	1,8096
C	12,5000	1,0857
D	8,3330	0,72382
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

Tabel 2. Koefisien Dispersi vertikal P-G.

Stabilitas	x (km)	A	b
A	< 0,10	122,800	0,94470
	0,10 – 0,15	158,080	1,05420
	0,16 – 0,20	170,220	1,09320
	0,21 – 0,25	179,520	1,12620
	0,26 – 0,30	217,410	1,26440
	0,31 – 0,40	258,890	1,40940
	0,41 – 0,50	346,750	1,72830
	0,50 – 3,11 >3,11	453,580	2,11660
B	< 0,20	90,673	0,93198
	0,21 – 0,40	98,483	0,98332
	> 0,40	109,300	1,09710
C	Semua x	61,141	0,91465
D	<0,30	34,459	0,86974
	0,31 – 1,00	32,093	0,81066
	1,01 – 3,00	32,093	0,64403
	3,01 – 10,00	33,504	0,60486
	10,01-30,00 > 30,00	36,650 44,053	0,56589 0,51179
E	<0,10	24,260	0,83660
	0,10 – 0,30	23,331	0,81956
	0,31 – 1,00	21,628	0,75660
	1,01 – 2,00	21,628	0,63077
	2,01– 4,00	22,534	0,57154
	4,01–10,00	24,703	0,50527
	10,01–20,00	26,970	0,46713
	20,01–40,00 > 40,00	35,420 47,618	0,37615 0,29592
F	< 0,20	15,209	0,81558
	0,21 – 0,70	14,457	0,78407
	0,71 – 1,00	13,953	0,68465
	1,01 – 2,00	13,953	0,63227
	2,01 – 3,00	14,823	0,54503
	3,01 – 7,00	16,187	0,46490
	7,01 – 15,00	17,836	0,41507
	15,01 – 30,00 30,01 – 60,00 >60,00	22,651 27,074 34,219	0,32681 0,27436 0,21716

Aplikasi dimplementasikan dalam program MATLAB dengan membagi program dalam tiga bagian [8]: pre-proses, proses dan post-proses seperti pada Gambar 3. Pre-proses merupakan tahapan penyiapan grid dan data masukan. Sedangkan tahapan proses merupakan tahapan kalkulasi berdasarkan model matematis dan tahapan post-proses untuk menampilkan hasil pemodelan.

Pre-proses untuk menyiapkan *grid spacing* dalam ruang 3D:  $x$ ,  $y$  dan  $z$ . *Grid spacing* adalah matrik baris yang berisi koordinat  $x$ ,  $y$  dan  $z$ . Sebagai contoh untuk *mesh* 100 m dengan koordinat -5 km s/d 5 km untuk jarak  $x$ , dalam MATLAB ditulis sebagai  $x=-5000:100:5000$ ; Data meteorologi (Data Met.) yang terdiri dari  $wspd$  (kecepatan angin) dan  $wdir$  (arah angin) merupakan data pengukuran dari stasiun meteorologi, yang merupakan data pengukuran tiap jam. Sedangkan data meteorologi  $stb$  (stabilitas) merupakan data hasil perhitungan dari data kecepatan angin dan energi radiasi matahari berdasarkan kriteria Pasquill-Gifford [14]. Laju ( $Q$ ) dan tinggi efektif cerobong ( $H$ ) sumber diasumsikan konstan. Ukuran radiasi  $Q$  dinyatakan dalam  $Bq$  per detik atau  $Bq$  per jam dan konsentrasi keluaran dalam  $Bq$  per  $m^3$  [15][16].



Gambar 3. Diagram implementasi

### Implementasi

Konsentrasi cemaran di kordinat 3D  $C(x,y,z)$  dihitung langsung dari solusi eksak persamaan (8) dengan memasukkan data: posisi lokasi dengan koordinat  $(x,y,z)$ , laju lepasan ( $Q$ ), tinggi efektif pelepasan ( $H$ ), kecepatan angin ( $u$ ) di ketinggian stek (cerobong), parameter stabilitas  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$  dengan selang waktu  $t$ .

Bagian proses memuat fungsi utama untuk menghitung konsentrasi cemaran dan sebuah sub-fungsi untuk perhitungan parameter stabilitas horisontal ( $S_y$ ) dan vertikal ( $S_z$ ). Konsentrasi cemaran dihitung berdasarkan data masukkan posisi koordinat  $(x,y,z)$ , besar sumber lepasan ( $Q$ ), tinggi efektif cerobong ( $H$ ), kecepatan angin ( $Wspd$ ), arah angin ( $Wdir$ ) dan stabilitas ( $Stb$ ). Paramer

stabilitas  $\sigma_y$  ( $S_y$ ) dan  $\sigma_z$  ( $S_z$ ) pada rumus (8) dihitung berdasarkan data masukkan posisi koordinat  $x$  dan stabilitas ( $Stb$ ) dan mengacu data eksperimental Tabel 1 dan 2.

Bagian akhir (post-proses) digunakan untuk pengendalian keluaran dimana kontur garis ( fungsi  $Contour(\dots)$  ) distribusi cemaran 2D ditampilkan diatas citra/map atau dalam grafik dengan kontur isian ( fungsi  $Contourf(\dots)$  ) [17][18][19].

### Simulasi Pengujian

- (1).Pengujian simulasi distribusi gaussian polutan dengan mengambil luasan 64 km<sup>2</sup> dengan parameter masukan ( Q, H, W<sub>sp</sub>, W<sub>dir</sub>, STB,  $S_y$  dan  $S_z$  ) semua dibuat konstan.
- (2).Uji simulasi distribusi lepasan Iodine-131 dari cerobong PT. INUKI di Kawasan

Nuklir Serpong (KNS) pada saat melakukan proses produksi radioisotop. Tinggi cerobong 60 m dan dianggap tidak ada *plume* rise. data lepasan Iodine-131 beserta tanggal dan lokasi pemantauan seperti terlihat pada Tabel 3. Sedangkan data meteorologi menggunakan data meteorologi tiap jam (*hourly*) di KNS. Kecepatan dan arah angin (W<sub>spd</sub> dan W<sub>dir</sub>) dari data pengukuran, Stabilitas atmosfer ( $Stb$ ) dan parameter stabilitas ( $S_y$  dan  $S_z$ ) ditentukan dengan formulasi Pasquill-Gifford persamaan (11) dan (13). Simulasi mengambil luasan 70,56 km<sup>2</sup>, dan peta bujur sangkar dengan radius 4,2 km dilengkapi lokasi cerobong (STEK) lepasan Iodine-131 dan lokasi titik pantau dibuat dari *Google map* dengan bantuan *GPS Visualizer* [20] seperti tampak pada Gambar 4.

**Tabel 3.** Data lepasan I-131 dari cerobong INUKI dan konsentrasi radioaktivitas di lokasi pemantauan[21]

No	Tanggal & Jam Produksi	Kons. I-131 di cerobong (Bq m <sup>-3</sup> )	Lokasi pemantauan Desa (jarak dari sumber) Koordinat lokasi	Kons. I-131 di lokasi pemantauan (Bq m <sup>-3</sup> )
1	11-12 Des 2013	321,16	Puri Serpong (2,2 km)	22,51
	17.00-05.00		6°21'09,18"S, 106°40'58,08"T.	
2	18-19 Des 2013	374,67	Batan Indah (2,6 km)	29,81
	11.30-21.40		6°19'46,06"S, 106°40'08,07"T.	
3	27-28 Des 2013	19,31	Muncul (1,3 km)	26,9
	13.30 – 05.00		6°20'53,60"S, 106°40'27,35"T	
4	22-23 Jan 2014	192,29	Sengkol (0,8 km)	15,39
	14.00 – 01.30		6°20'39,20"S, 106°39'48,03"T.	
5	5-6 Feb 2014	155,29	Pabuaran (1,9 km)	11,96
	12.30 – 21.30		6°22'09,77"S, 106°39'56,24"T.	
6	19-20 Feb 2014	132,38	Suradita (3,2 km)	13,05
	11.00 – 21.00		6°21'02,90"S, 106°38'03,81"T	
7	13-14 Mar 2014	162,46	Jeletreng (4,2 km)	13,17
	11.00 – 21.00		6°18'52,96"S, 106°39'44,74"T	



**Gambar 4.** Lokasi lepasan I-131 dan lokasi pemantauan.

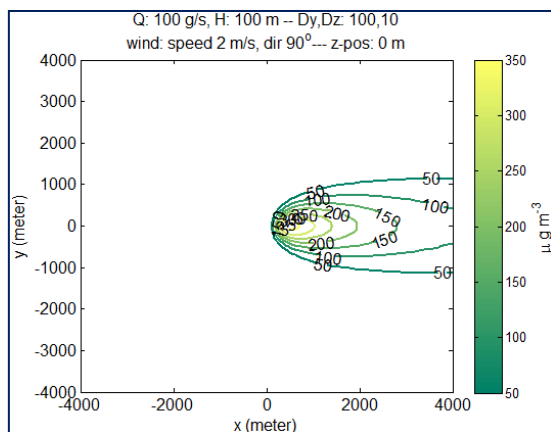
Keterangan: STEK: Cerobong sumber lepasan I-131, PS: Puri Serpong, BI: Batan Indah, MCL: Muncul, SKL: Sengkol, PBR: Pabuaran, SRD: Suradita, dan JLT: Jeletreng.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

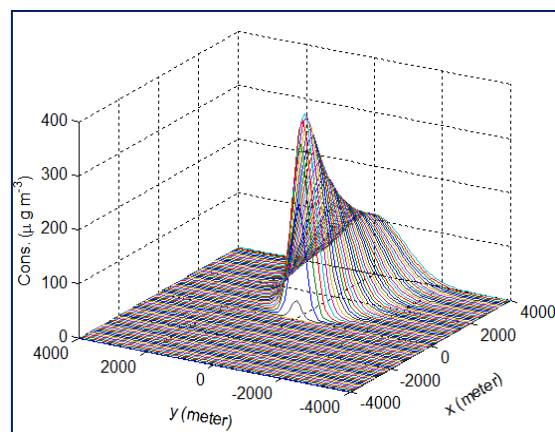
**Uji distribusi**

Gambar 5 memperlihatkan pola distribusi polutan hasil perhitungan model di permukaan tanah ( $z = 0$ ), dengan memasukkan nilai-nilai parameter  $Q$  (100 g/s),  $H$  (100 m),  $D_y$  (100 m) dan  $D_z$  (10 m) konstan, kecepatan angin juga konstan 2 m/s dengan arah  $90^\circ$  searah sumbu  $x$ -positif. Pola distribusi cemarun menurun baik

searah maupun tegak lurus dengan arah angin., sementara sebarannya makin melebar di permukaan tanah. Pola kontur (Gambar 5a) atau lebar sebaran sangat dipengaruhi nilai  $D_y$  dan  $D_z$ ,  $H$  serta besar kecepatan angin. Semakin besar  $D_y$  area penyebaran semakin lebar. Sementara itu bentuk distribusi arah melintang angin (crosswind) terlihat jelas berbentuk gaussian (Gambar 5b).



(a) Kontur distribusi



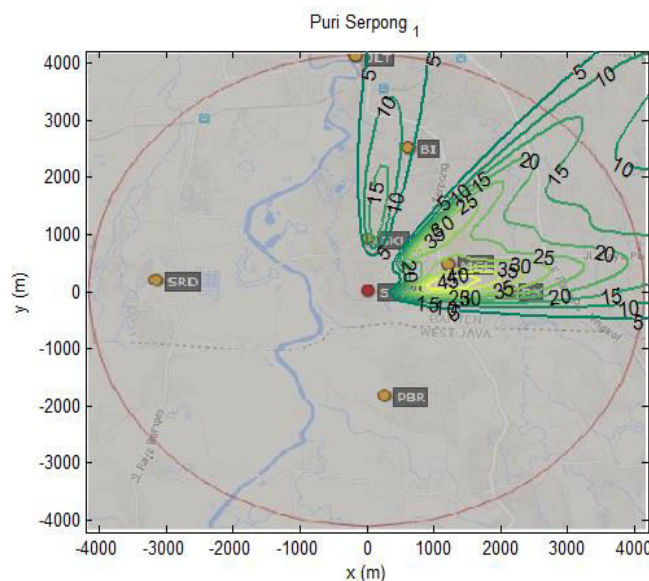
(b) Kurva gaussian sebaran *crosswind*.

Gambar 5. Pola distribusi lapisan polutan dari stek

**Uji distribusi lapisan I-131**

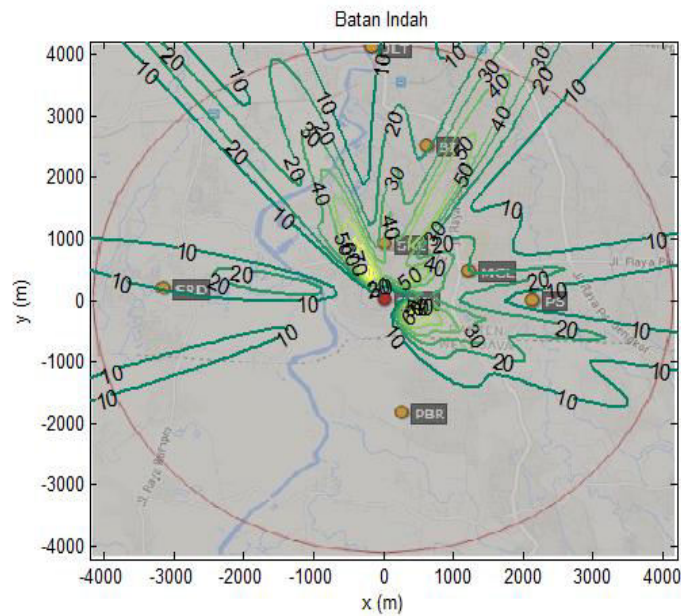
Hasil perhitungan distribusi lapisan I-131 tanggal 11-12 Desember 2013 di KNS seperti tampak pada Gambar 6, di Puri Serpong (PS) konsentrasinya sekitar  $30 \text{ Bq/m}^3$  sedikit lebih tinggi dari pengukuran pemantauan. Hasil hitungan tersebut didasarkan pada data

meteorologi di KNS jam 17.00-05.00 bersamaan dengan waktu produksi I-131. Demikian juga untuk Gambar 7, pemantauan di Batan Indah tanggal 18-19 Desember 2013 dengan data meteorologi jam 11.00-22.00 didapat konsentrasi I-131 sekitar  $20 \text{ Bq/m}^3$ , lebih rendah dari hasil pengukuran.



Gambar 6. Kontur output distribusi I-131 saat pemantauan di Puri Serpong





**Gambar 7.** Kontur output distribusi I-131 saat pemantauan di Batan Indah.

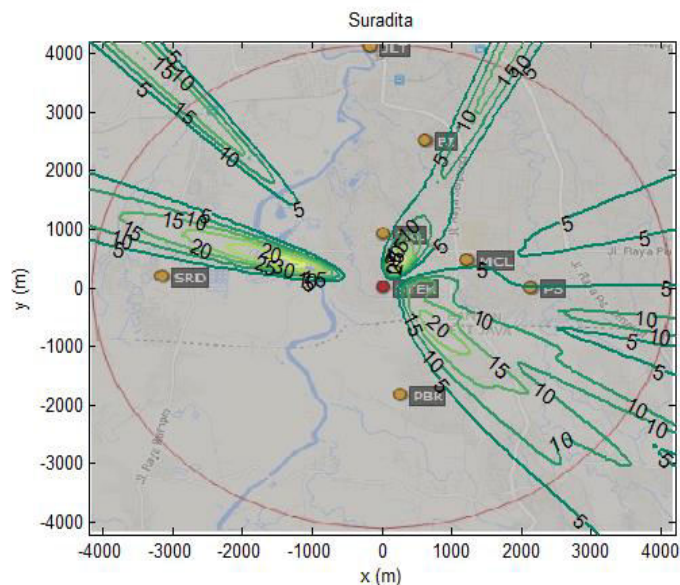
Data lebih lengkap hasil perhitungan di tujuh lokasi pemantauan seperti terlihat pada Tabel 4. Angka hasil hitungan hanya didasarkan pada hasil visualisasi kontur output yang dapat dilihat pada gambar keluaran. Di lima lokasi: Puri Serpong, Batan Indah, Muncul, Sengkol dan Jeletreng memperlihatkan

hasil yang cukup jelas jika diamati dari gambar kontur keluaran program. Untuk lokasi pengamatan di Pabuaran dan Suradita keduanya berada di luar daerah sebaran I-131, seperti terlihat pada Gambar 8, pengukuran pada pemantauan di Suradita di luar kontur, dengan kontur terendah 5 Bq per m<sup>3</sup>.

**Tabel 4.** Perbandingan pengukuran dengan hasil simulasi perhitungan

No.	Lokasi pantau	Pengukuran (Bq/m <sup>3</sup> )		Hitungan Model* (Bq/m <sup>3</sup> )
		Cerobong	Lokasi	
1	Puri Serpong (PS)	321,16	22,51	30 (60)
2	Batan Indah (BI)	374,67	29,81	20 (25)
3	Muncul (MCL)	19,31	26,90	0,5 (50)
4	Sengkol (SKL)	192,29	15,39	8 (40)
5	Pabuaran (PBR)	155,29	11,96	<10 (<20)
6	Suradita (SRD)	132,38	13,05	<5 (<20)
7	Jeletreng (JLT)	162,46	13,17	10 (20)

\*Keterangan: Angka dalam kurung dihitung berdasarkan data lepasan cerobong terbesar dengan data meteorologi 2x24 jam sesuai tanggal pemantauan.



Gambar 8. Kontur output distribusi I-131 saat pemantauan Suradita.

Dari data-data hasil pengujian diatas terlihat bahwa perhitungan model sudah cukup baik, dengan menggunakan data meteorologi yang ada di KNS khususnya kecepatan dan arah angin serta klas stabilitas yang ada, prediksi menggunakan model ini tidak terlalu menyimpang. Model ini merupakan model dasar, dimana faktor-faktor lain yang mempengaruhi pola dispersi gas ataupun partikulat udara seperti *plume rise*, deposisi, pengaruh *inversion layer*, reaksi kimia dan peluruhan radioaktif belum dipertimbangkan.

#### KESIMPULAN

- Dalam makalah ini telah diuraikan model plume gaussian yang diimplemen tasikan dalam bentuk aplikasi program di MATLAB.
- Model plume gaussian merupakan model perhitungan eksak solusi analitik persamaan difusi-adveksi, namun demikian data masukkan perlu dari data eksperimental.
- Model plume gaussian fleksibel untuk mengakomodasi model tambahan terkait koreksi parameter seperti adanya *plume rise*, deposisi, *inversion layer*, proses kimia kontaminan maupun peluruhan radioaktif.
- Aplikasi model plume gaussian dapat digunakan untuk memperkirakan pola global distribusi kontaminasi disekitar lepasan cemaran.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Kepala Bidang Radioekologi serta rekan-rekan di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) yang telah memberikan dukungan dan bantuannya, menyediakan biaya dan sarana penelitian untuk penulisan makalah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] UN, "World ' s population increasingly urban with more than half living in urban areas agenda ". New York, 2014.
- [2] J. Vidal, "Air pollution rising at an ' alarming rate ' in world ' s cities." World Health Organization, May-2016.
- [3] RI, *Undang-undang RI No. 32, tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 2009.
- [4] A. Pruss-Ustun, J. Wolf, C. Corvalan, R. Bos, and M. Neira, *Preventing disease through healthy environments, A global assessment of the burden of disease from environmental risks*. Geneva: World Health Organization, 2016.
- [5] Theguardian, "Air pollution ' kills 7 million people a year '," *Associate Press in London*, 2014. [Online]. Available:

- <http://www.theguardian.com/environment/2014/mar/25/air-pollution-kills-7m-people-a-year>. [Accessed: 13-May-2016].
- [6] C. Q. Choi, "Air Pollution Kills More than 3 Million People Globally Every Year," *Live Science*, 2015. [Online]. Available: <http://www.livescience.com/52189-air-pollution-kills-millions-people-yearly.html>. [Accessed: 13-May-2016].
- [7] J. M. Stockie, "The Mathematics of Atmospheric Dispersion Modeling," *Soc. Ind. Appl. Math.*, vol. 53, no. 2, pp. 349–372, 2011.
- [8] E. Holzbecher, *Environmental Modeling Using MATLAB*. Berlin: Springer, 2007.
- [9] IAEA, *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*, no. 19. Safety Report Series No. 19, 2001.
- [10] S. G. Homann and F. Aluzzi, "HotSpot, Health Physics Codes Version 3.0, User's Guide." National Atmospheric Release Advisory Center, LLNL, Livermore, CA, 2014.
- [11] N. K. Arystanbekova, "Application of Gaussian plume models in air pollution simulation at instantaneous emission," *Math. Comput. Simul.*, vol. 67, pp. 1–8, 2004.
- [12] U.S.EPA, "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models Volume II - Description of Model Algorithms," vol. II, no. September. North Carolina 27711, 1995.
- [13] B. A. Napier, D. L. Strenge, and J. V Ramsdell, "GENII Version 2 Software Design Document," no. September. 2012.
- [14] A. De Visscher, *Air Dispersion Modeling*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [15] E. R. A. Lutman, S. R. Jones, R. A. Hill, P. McDonald, and B. Lambers, "Comparison between the predictions of a Gaussian plume model and a Lagrangian particle dispersion model for annual average calculations of long-range dispersion of radionuclides," vol. 75, pp. 339–355, 2004.
- [16] J. G. Smith and J. R. Simmonds, "The Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Releases of Radionuclides to the Environment Used in PC-CREAM 08," no. June. Health Protection Agency, 2015.
- [17] A. McAndrew, "An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, 2004," 2004.
- [18] MATHWORKS, *MATLAB Primer, Stateflow™ User's Guide R 2015 b*. 2015.
- [19] C. Moler, "The Origins of MATLAB," 2004. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-origins-of-matlab.html>. [Accessed: 20-Apr-2016].
- [20] A. Schneider, "GPS Visualizer, make a Google Map from GPS file.," 2016. [Online]. Available: [http://www.gpsvisualizer.com/map\\_input](http://www.gpsvisualizer.com/map_input).
- [21] G. Suhariyono, "Dispersi Lepas Radioaktif dari Cerobong Fasilitas Radiasi dan Potensi Resiko terhadap Lingkungan dan Kesehatan," Universitas Indonesia, 2016.

## TANYA JAWAB

### Ambyah Suliwarno

- Apa kelemahan model plume gaussian?
- Model plume gaussian ini bisa diterapkan dimana?

### Nurokhim

- Plume gaussian adalah model semi-empirik, model ideal untuk lepasan polutan dengan kondisi tanah lapang yang datar dengan kekasaran dan temperatur permukaan merata. Karena itu tidak cocok untuk lepasan polutan didaerah dengan permukaan yang kompleks, banyak bangunan tinggi, bergunung-gunung. Model ini juga tidak cocok untuk lepasan dengan kondisi udara sangat stabil dimana kecepatan angin sangat rendah, dari formulasi terlihat bahwa konsentrasi



berbanding terbalik dengan kecepatan angin, karena itu model tak dapat digunakan untuk kecepatan angin nol.

- Seperti alasan diatas, model plume gaussian ini idealnya diterapkan untuk wilayah yang datar dengan area yang tidak terlalu luas, jarak transport kurang dari 100 km.

#### **Suganal**

- Model plume gaussian ini apakah dapat digunakan untuk identifikasi sebaran partikel/debu batu bara halus yang dilepaskan oleh kegiatan stockpill/penimbunan batubara di pelabuhan batubara?

#### **Nurokhim**

- Dapat, asalkan kondisi meteorologi serta laju lepasan debu batu bara di sekitar stockpill diketahui.