

PENYEBARAN RADIOAKTIVITAS α DAN β KE LINGKUNGAN DARI PENGUJIAN ELEMEN BAKAR BEKAS DI IRM

Indro Yowono, Eko Pudjadi
PEBN-BATAN, Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310

ABSTRAK

PENYEBARAN RADIOAKTIVITAS α DAN β KE LINGKUNGAN DARI PENGUJIAN ELEMEN BAKAR BEKAS DI IRM. Telah dilakukan pengujian 2 buah elemen bakar bekas RSG.GAS dengan cara merusak di IRM dan dipantau tingkat radioaktivitas udara buangnya ke lingkungan. Alat yang digunakan untuk pemantauan adalah "alpha-beta particulate monitor" tipe Berthold LB 150 D. Perhitungan dengan model "Gauss plumes" dan faktor difusi menunjukkan bahwa penyebaran dan kontribusi radioaktivitas α dan β ke lingkungan dari IRM tidak memberikan dampak radiologi yang berarti. kontribusi radioaktivitas rata-rata tertinggi untuk α dan β masing-masing sebesar 0,002% dan 0,05%.

ABSTRACT

THE DISPERSION OF α AND β RADIOACTIVITY TO THE ENVIRONMENTAL FROM SPENT FUEL TESTING IN RMI. The destructive testing of 2 spent fuels in RMI and radioactivity air release monitoring to the environmental have been done. The monitoring equipment used is alpha-beta particulate monitor, Berthold LB 150 D type. The calculations using the Gaussian plume model and distributions factor showed there were no radiological effect of α and β radioactivity dispersion and contribution to the environmental. The maximum average construction of α and β radioactivity are 0.002% and 0.05% respectively.

PENDAHULUAN

Tugas dan fungsi Instalasi Radiometalurgi (IRM) adalah melakukan uji elemen bakar pasca iradiasi atau elemen bakar bekas dan telah melakukan pengujian elemen bakar sejak tahun 1993. IRM dirancang dengan kemampuan menangani elemen bakar bekas dengan aktivitas sampai dengan 1.000.000 Curie, sedangkan tinjauan dari sisi keselamatan kritisitas dirancang mampu menangani 6 elemen bakar bekas tipe MTR-30 yaitu elemen bakar untuk RSG G.A. Siwabessy (RSG.GAS) atau 1 elemen bakar tipe Biblis A. Dalam menangani elemen bakar bekas semua proses kegiatan dilakukan dalam sel panas terdiri dari 9 buah sel baja (SS) dan 3 buah sel beton berat ("heavy concrete").

Dalam melakukan pengujian merusak elemen bakar bekas dipotong dalam ukuran cukup kecil di sel beton, oleh karena itu maka dalam pemotongan tersebut dimungkinkan terlepasnya gas atau bahan radioaktif hasil fisi.

Untuk melindungi para pekerja dari kontaminasi karena inhalasi dan mencegah

terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan, maka sebelum udara dibuang dari sel panas terlebih dahulu dilewatkan HEPA filter yang dipasang di saluran udara buang ("ducting exhaust") pada dinding sel panas. Udara dibuang ke lingkungan melalui cerobong ("stack") dengan kecepatan 14.277 m³/jam, yang sebelumnya telah dilewatkan HEPA filter dan dimonitor tingkat radiasinya. Karena efisiensi filter hanya 99,97% untuk partikel ukuran 0,3 μ m,⁽¹⁾ maka tentu ada sebagian partikel radioaktif yang terlepas ke udara atau lingkungan. Menurut ketentuan Batan nilai batas radioaktivitas di lingkungan sebesar 2×10^6 Bq/l untuk campuran radionuklida yang tidak diketahui komposisinya dan batas tahunan melalui pernafasan sebesar 6×10^6 Bq/tahun.⁽²⁾

Dalam PSAR ("preliminary safety analysis report") IRM dari GCNF (German Consortium Nuclear Facilities) telah dilakukan perhitungan/analisis dampak lingkungan terhadap operasi normal IRM bila melakukan pengujian elemen bakar bekas atas dasar elemen bakar tipe PWR standar, yaitu elemen bakar bekas (ebb) tipe Biblis A, pendinginan telah dilakukan selama 101 hari, kandungan uranium 534 kg. Untuk pengujian

dilakukan pemotongan dalam ukuran yang kecil (dalam mm) dan sekitar 1,32 gram ebb tersebar dalam bentuk partikel dan sekitar 0,3 gram lolos ke lingkungan. Dan secara keseluruhan hanya sekitar 6×10^{-7} bagian dari ebb yang lolos. Aktivitas yang terlepas dari ebb rata-rata untuk aktinida bila terjadi kerusakan $3,30 \times 10^9$ Bq/ebb. Pada kenyataannya elemen bakar bekas yang tengah diuji saat ini tidak sama dengan elemen bakar yang digunakan dalam PSAR, oleh sebab itu perlu dilakukan analisis atas dasar kenyataan yang ada dari proses kegiatan IRM. Kegiatan yang dilakukan sejak tahun 1993 hingga saat ini adalah pengujian elemen bakar bekas tipe MTR-30 dari RSG.GAS dengan inventori produk fisi menurut perhitungan dengan Origen II disampaikan dalam lampiran 1. Dan 1 elemen bakar bekas tipe U_3Si_2 yang mulai dilakukan pengujiannya tahun 1994.

Analisis didasarkan pada hasil pemantauan radioaktivitas yang dilepas ke lingkungan melalui cerobong setinggi 60 meter setiap hari sejak dimasukkannya elemen bakar bekas dalam sel panas IRM. Dari hasil pantauan tersebut dilakukan perhitungan dengan metoda jatuhnya zat radioaktif ke lingkungan pada kondisi operasi normal untuk berbagai jarak dari cerobong pada ketinggian 160 cm. Dengan membandingkan hasil analisis untuk menentukan sumbangan atau kontribusi radioaktivitas yang berasal dari kegiatan IRM terhadap lingkungan. Hasil analisis dapat digunakan untuk meningkatkan sistem keselamatan, khususnya pemantauan lepasan gas buang pada kegiatan IRM.

TEORI

Untuk melakukan analisis dan perhitungan seberapa jauh kontribusi radioaktivitas α dan β dari lepasan udara buang melalui cerobong IRM saat pengujian elemen bakar bekas, digunakan persamaan dan perhitungan sebagai berikut :

1. Tinggi cerobong :⁽⁴⁾

$$H = 3 \frac{W}{U} D \quad (1)$$

H = tinggi cerobong (m)

W = debit gas buang dari cerobong (m^3 /jam)

U = kecepatan angin (m/detik)

D = diameter cerobong (m)

Dengan penentuan tinggi cerobong yang benar maka pola lepasan udara dari cerobong akan

memberikan pola penyebaran radionuklida ke lingkungan yang mudah diperhitungkan.

2. Penyebaran radionuklida ke lingkungan :

Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan ini atas dasar anggapan bahwa keluaran zat radioaktif dari cerobong mengikuti distribusi Gauss.^(3,4)

Dengan anggapan x sebagai axis panjang angin, y "cross-wind" dan z adalah tinggi daerah yang diukur, digunakan persamaan :

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \delta_y \cdot \delta_z \cdot U} \cdot \exp\left(-x \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\delta_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\delta_z^2}\right)\right) \quad (2)$$

Dalam hubungannya :

$X(x,y,z)$ = konsentrasi zat radioaktif pada titik (x,y,z) (Ci/m^3)

Q = jumlah radioaktif yang dilepas ($Ci/detik$)

U = kecepatan angin dari cerobong (m/detik)

x = konstanta peluruhan radioaktif ($1/detik$)

H = tinggi pelepasan (m)

δ_y = standard deviasi konsentrasi lateral

δ_z = standard deviasi konsentrasi vertikal

Harga δ_y dan δ_z disampaikan dalam lampiran.

Dari rumus dasar tersebut dijabarkan untuk analisis difusi di atmosfer pada keadaan kecelakaan yang dipostulasikan dan keadaan operasi normal. Untuk keadaan operasi normal persamaan tersebut menjadi sebagai berikut :

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{\pi \cdot \delta_y \cdot \delta_z \cdot U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H}{2\delta_y^2}\right) \quad (3)$$

Pemakaian persamaan (2) maupun (3) perlu memperhatikan kategori stabilitas atmosfer (A, B, C, atau D) tergantung dari beberapa faktor antara lain kecepatan angin. Untuk emisi tunggal harga X/Q disebut faktor distribusi atau pengenceran, harga ini ditentukan untuk kecepatan angin tertentu dan arah tertentu. Dengan harga X/Q dapat diperkirakan penyebaran radionuklida yang dilepas ke lingkungan dari cerobong.

TATA KERJA

Dalam penelitian ini alat pantau lepasan zat radioaktif ke lingkungan yang digunakan adalah aerosol monitor, Alpha-Beta Particulate Monitor tipe LB 150 D buatan Berthold dengan efisiensi detektor 31 % dan diletakkan pada lantai tiga IRM

pada ruang 314. Cuplikan udara diambil dari cerobong secara kontinyu dan secara otomatis dicacah. Alat pencuplik udara dirancang dan dinuat atas dasar ISO 2889. Tata kerja alat dan perhitungan analisis dilakukan sebagai berikut :

1. Semua tombol dihidupkan sesuai dengan urutan dalam manual operasi meliputi sistem daya, elektronik dan gas.
2. Mengatur parameter operasi disesuaikan dengan kondisi lingkungan Parameter ini meliputi faktor alpha, beta, gamma dan cacah latarnya.
3. Setting waktu untuk printer/record sesuai keperluan, dalam hal ini diset setiap 30 menit.
4. Setting dosis ambang sesuai dengan ketentuan dalam buku ketentuan SK Dirjen. No. 294/DJ/IX/1992 tentang Nilai Batas Radioaktivitas di lingkungan. Bila terjadi aktivitas di atas setting akan terjadi alarm.
5. Pengumpulan data pantau dari cerobong, diambil data mingguan tertinggi sejak ebb masuk ke sel panas dan dirata-ratakan. Kemudian diperhitungkan data triwulan. Dicatat data tertinggi yang pernah dicapai.
6. Dilakukan perhitungan dosis lingkungan dalam keadaan operasi normal dengan model "Gauss plume" serta faktor pengenceran.
7. Dari hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan hasil pantauan dosis lingkungan untuk memperhitungkan kontribusi.

Setting alarm untuk besaran radioaktivitas yang keluar dari cerobong adalah sebagai berikut :

- alpha = $2,7 \times 10^{-12}$ Ci/m³
- beta = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci/m³
- gamma = tak ada settingnya tetapi ada penunjukan nilai Setting alarm tersebut didasarkan atas jumlah radionuklida terbesar yang kemungkinan terlepas ke lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan persamaan (1) tersebut diatas dan dari data rancang bangun, kecepatan gas buang = 14.277 m³/jam dan kecepatan angin sebesar 5 m/detik, diperoleh tinggi cerobong IRM :

$$H = 3 \frac{14,277 \text{ m}^3/\text{jam}}{5 \text{ m/detik}} 1,5 \text{ m} = 62,532 \text{ m}$$

dalam kenyataannya tinggi cerobong 60 m.

Kecepatan angin pada ketinggian 60 meter sebesar 5 m/detik adalah anggapan dari GCNF, sedangkan data dari pengamatan stasiun meteo Batan berkisar antara 3 - 5 m/detik⁽³⁾ dan data triwulan Sarpedal sebesar 2 m/detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa kecepatan angin di kawasan Batan Serpong selalu berubah-ubah dan tergantung pada musim. Menurut IAEA pengamatan kecepatan angin sebaiknya dilakukan selama 3 tahun. Apabila digunakan data kecepatan angin kurang dari 5 m/detik maka seharusnya tinggi cerobong lebih dari 60 meter.

Data hasil pantauan gas buang tertinggi yang pernah dicapai dan rata-rata triwulan disampaikan dalam gambar 1. Radoaktivitas tertinggi yang tertera dalam gambar 1 frekuensinya sangat rendah, dan belum tentu berasal dari elemen bakar bekas karena kemungkinan juga terjadi saat sistem ventilasi terganggu. Dari gambar 1 terlihat bahwa aktivitas α dan β rata-rata yang dilepas melalui cerobong selama tahun 1993 dan tahun 1994 masih relatif rendah. Pada tahun 1994 ada sedikit kenaikan radioaktivitas, hal ini disebabkan karena ada tambahan satu elemen bakar bekas. Dengan kecepatan pengambilan cuplikan sebesar 40 m³/jam,⁽⁵⁾ maka laju aktivitas dari cerobong IRM seperti disampaikan dalam gambar 2. Laju aktivitas rata-rata dari cerobong pada tahun 1993 sebesar $1,8 \times 10^3$ Bq/detik untuk α dan $4,48 \times 10^3$ Bq/detik untuk β . Sedangkan pada tahun 1994 masing-masing sebesar $3,93 \times 10^3$ Bq/detik untuk α dan $10,1 \times 10^3$ Bq/detik untuk β . Menurut perhitungan dalam pustaka 6 arah penyebaran radionuklida terbesar ke arah Barat Daya dan Tenggara dengan faktor pengenceran pada jarak antara 800 - 1000 meter sebesar $1,8 \times 10^{-6}$ detik⁻¹/m³. Sedangkan menurut perhitungan dalam PSAR sebesar $1,2 \times 10^{-6}$. Dengan demikian konsentrasi radioaktivitas pada jarak 800 - 1000 m tersebut diperkirakan sebesar ⁽⁶⁾ $3,24 \times 10^{-12}$ Bq/l (α) dan $8,06 \times 10^{-12}$ Bq/l (β) untuk tahun 1993 dan untuk tahun 1994 masing-masing sebesar $7,07 \times 10^{-12}$ Bq/l dan $18,18 \times 10^{-12}$ Bq/l. Terlihat bahwa harga tersebut masih dibawah nilai batas ketentuan konsentrasi radionuklida di lingkungan.

Dengan persamaan (3) tersebut di atas diperoleh hubungan antara waktu (triwulan), jarak dan tingkat radioaktivitas α dan β seperti disampaikan dalam gambar 3. Dalam perhitungan tersebut digunakan kategori stabilitas atmosfer D^(7,8) dengan harga δ_1 dan δ_2 dari gambar 4. Perhitungan untuk gambar 3 dilakukan pada ketinggian 1,6 m yaitu tinggi pengambilan pernafasan manusia pada umumnya. Hasil perhitungan tersebut bila dikaitkan

dengan kecepatan pernafasan seseorang yang berkisar antara 8 - 10 m³ tiap 8 jam⁽⁹⁾ masih sangat aman. Pada jarak 1000 meter diperoleh harga rata-rata kontribusi radioaktivitas ke lingkungan tahun 1993 sebesar 5,16 x 10⁻¹¹ Bq/l untuk α , 12,75 x 10⁻¹¹ Bq/l untuk β dan pada tahun 1994 sebesar 1,8 x 10⁻¹⁰ Bq/l untuk α , 2,87 x 10⁻¹⁰ Bq/l untuk radioaktivitas β .

Berdasarkan hasil pemantauan lingkungan PPTA-Serpong, radioaktivitas rata-rata untuk α total dan β total masing-masing sekitar 6,5 x 10⁻⁶ Bq/l dan 58 x 10⁻⁶ Bq/l. Dari hasil pemantauan tersebut terlihat bahwa kontribusi radioaktivitas dari IRM ke lingkungan sejak adanya elemen bakar bekas berturut-turut hanya sebesar 0,0007% dan 0,002% untuk α kemudian 0,02% dan 0,05% untuk β . Dengan demikian secara kasar pengoperasian IRM tidak menyebabkan peningkatan radioaktivitas lingkungan secara nyata.

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa laju aktivitas pelepasan gas buang dari cerobong IRM tertinggi yang pernah dicapai dalam pengujian 2 buah elemen bakar bekas 1,213 x 10⁻² Bq/detik untuk α dan 2,433 x 10⁻² Bq/detik untuk β . Setelah pengenceran oleh udara kontribusi radioaktivitas ke lingkungan dari IRM hanya sebesar 0,0007% untuk α dan 0,002% untuk β pada tahun 1993 dan pada tahun 1994 masing-masing sebesar 0,02% dan 0,05%. Secara keseluruhan pengoperasian IRM dalam pengujian elemen bakar bekas tidak memberikan dampak yang berarti pada peningkatan radioaktivitas lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh staf BKK-PEBN terutama kepada mereka yang menyiapkan data dan membantu penulisan penelitian ini yaitu Sdr. Drs. Eko Pudjadi dan Sdr. Darmini.

DAFTAR PUSTAKA

1. DONALD C. STEWART, "Handling Radioactivity, a practical approach for scientist and engineers", John Wiley & Sons.
2. BATAN, "Nilai Batas Radioaktivitas Di Lingkungan", Jakarta 1992. SK Dirjen. Batan No. 294/DJ/IX/1992.

3. GCNF INTERATOM, "Preliminary Safety Analysis Report", Radiometalurgy Laboratory (RMI), Batan.
4. ATOMIC ENERGY JAPAN COMMISSION, "Meteorological Guide For Safety Analysis Of Nuclear Power Plants", January 28, 1982.
5. BERTHOLD, "Operating Manual Alpha - Beta Particulate Monitor LB 150 D", German.
6. ERWANSYAH L., "Pemantauan Radioaktivitas Lingkungan Kawasan Puspiptek", Seminar sehari Sistem KK Ins. Nuklir, Serpong 30 Juli 1991.
7. IAEA, "Safety Series No.57, Generic Models and Transfer for Assessing The Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Release", Vienna 1982.
8. PTPLR, "Laporan Pemantauan Radioaktivitas Lingkungan lokasi PPTA-Serpong".
9. ERWANSYAH L., "Faktor Penyebaran Zat Radioaktivitas Yang Terlepas ke Atmosfer Di Daerah Batan serpong", Majalah Batan, Vol.23 No.1 Januari 1990.

TANYA-JAWAB

Purwanto

Bagaimana memisahkan dari radon terhadap yang saudara pantau?

Indro Yuwono

Alat ini telah dilengkapi sistem pseudocoinsiden dimana harga yang keluar adalah artificial yang sudah dikoreksi dengan radon & thoron di lingkungan.

Herlan Martono

Kenapa dalam grafik pelepasan alfa besar, padahal ini radionuklida berat. Pada pemotongan elemen bakar, yang keluar sebagian besar apa bukan yang berupa gas seperti Xe, Kr ?

Indro Yuwono

Kandungan terbesar dari BBB --- radionuklida berat (U). Yang dapat tertahan pada HEPA & kertas saring adalah partikel bukan gas. Sedangkan eff. HEPA hanya sekitar 99,97% untuk partikel ukuran 0,3 m, dengan demikian gas akan lolos.

Tabel 1. Inventory produk fisi dalam elemen bakar RSG-GAS

Inventory produk fisi dalam elemen bakar RSG-GAS

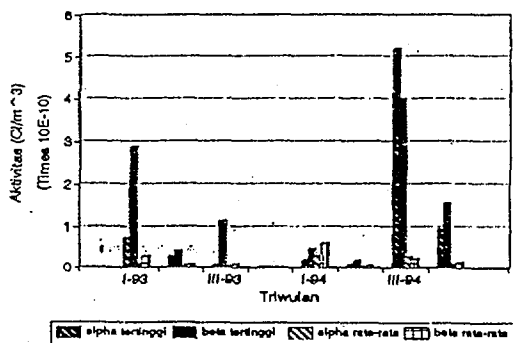
7 SUMMARY TABLE: RADIOACTIVITY, CURSES

IN BEWANG 250.07 GR U-235 (KAYA 19.75%) DLM TERAS RSG-GAS, PUNN-UP

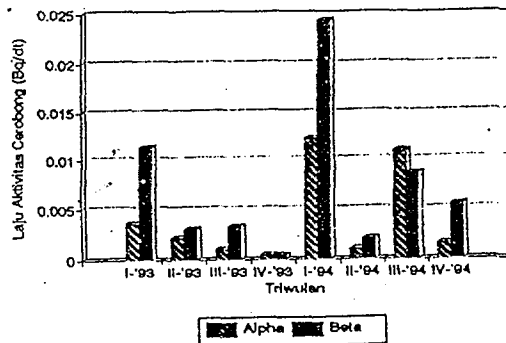
	15.03	15.03	30.03	45.03	60.03	75.03	90.03	105.03	120.03	135.03	150.03	165.03	180.03	210.03	240.03
AK	4.730E+03	4.354E+01	9.172E-05	1.479E-07	2.583E-10	3.851E-13	5.051E-16	1.413E-21	3.307E+00	3.002E+00	3.002E+00	3.002E+00	3.002E+00	3.002E+00	3.002E+00
SE	2.160E+04	2.327E-23	1.124E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05	1.324E-05
BE	4.399E+04	7.594E-22	1.055E-06	1.759E-09	1.449E-12	1.277E-15	1.431E-18	7.904E-25	9.040E+00	3.500E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SI	5.408E+04	1.572E+01	1.329E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01	3.350E+01
SR	1.143E+03	1.370E+03	4.611E-01	3.767E-01	2.169E-01	3.242E-01	6.914E-02	2.574E-02	7.451E-03	2.571E-03	3.243E-03	3.243E-03	3.243E-03	3.243E-03	3.243E-03
ST	1.542E+03	1.714E+04	1.539E+04	1.271E+04	4.767E+03	7.153E+03	5.864E+03	4.025E+03	2.747E+03	1.914E+03	1.343E+03	9.630E+02	6.630E+02	4.630E+02	3.160E+02
T	1.954E+05	2.037E+04	1.629E+04	1.348E+04	1.150E+04	9.472E+03	7.594E+03	5.791E+03	4.142E+03	2.967E+03	2.177E+03	1.609E+03	1.160E+03	8.400E+02	6.100E+02
TR	1.302E+05	2.163E+04	1.741E+04	1.480E+04	1.250E+04	1.047E+04	8.241E+03	6.545E+03	4.746E+03	3.429E+03	2.477E+03	1.792E+03	1.292E+03	9.497E+02	6.970E+02
YS	1.735E+05	2.132E+04	2.056E+04	1.941E+04	1.793E+04	1.617E+04	1.441E+04	1.281E+04	1.134E+04	9.961E+03	8.691E+03	7.501E+03	6.491E+03	5.501E+03	4.630E+03
MO	8.923E+04	1.093E+03	1.149E+03	1.447E-01	4.001E-02	1.347E-04	2.781E-04	1.445E-04	1.533E-05	4.441E-04	2.373E-04	1.203E-04	6.040E-05	3.040E-05	1.500E-05
TC	7.914E+04	1.743E+03	1.331E+03	2.773E-01	4.424E-02	4.274E-02	4.841E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02	4.040E-02
RU	1.251E+04	1.133E+04	4.190E+03	4.733E+02	4.740E+02	3.397E+02	3.552E+02	1.935E+02	1.201E+02	2.447E+02	4.433E+02	4.916E+02	4.916E+02	4.916E+02	4.916E+02
RI	1.787E+04	1.039E+04	7.397E+03	5.746E+03	4.581E+03	3.554E+03	2.794E+03	1.806E+03	1.194E+03	5.329E+02	4.131E+02	4.750E+02	4.750E+02	4.750E+02	4.750E+02
SN	1.361E+04	3.694E+03	1.331E+03	1.154E+03	3.444E+02	4.337E+02	7.534E+02	3.399E+02	3.425E+02	4.447E+02	3.627E+02	3.322E+02	3.322E+02	3.322E+02	3.322E+02
SI	3.972E+04	9.811E+01	1.724E+01	1.443E+01	1.420E+01	1.397E+01	1.374E+01	1.347E+01	1.311E+01	1.295E+01	1.244E+01	1.235E+01	1.235E+01	1.235E+01	1.235E+01
TE	1.019E+05	2.422E+01	4.757E+02	3.657E+02	2.479E+02	2.194E+02	1.491E+02	1.019E+02	7.449E+01	5.346E+01	4.023E+01	3.174E+01	2.414E+01	1.814E+01	1.314E+01
TA	1.445E+05	4.522E+01	4.421E+02	2.267E+02	6.138E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01	1.483E+01
TS	1.775E+05	6.349E+03	4.712E+02	1.022E+02	2.283E+01	5.737E+00	1.423E+00	3.471E-01	2.421E-02	1.522E-05	1.022E-04	1.022E-04	1.022E-04	1.022E-04	1.022E-04
TY	1.242E+05	3.736E+02	3.537E+02	3.474E+02	3.439E+02	3.419E+02	3.423E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02	3.331E+02
ZA	3.772E+05	1.387E+04	4.172E+03	2.314E+03	1.779E+03	1.379E+03	1.074E+03	8.092E+02	6.274E+02	5.037E+02	4.023E+02	3.174E+02	2.414E+02	1.814E+02	1.314E+02
LB	1.375E+05	1.231E+04	1.282E+03	1.345E+03	1.040E+03	4.447E+02	1.992E+02	4.524E+01	7.921E+01	1.135E+02	3.044E+01	4.031E+01	4.031E+01	4.031E+01	4.031E+01
CI	4.700E+04	2.222E+04	2.073E+04	1.690E+04	1.435E+04	1.183E+04	1.023E+04	8.037E+03	6.744E+03	5.644E+03	4.633E+03	3.733E+03	2.914E+03	2.160E+03	1.460E+03
PI	7.413E+04	1.182E+04	1.154E+04	8.951E+03	8.368E+03	7.495E+03	6.495E+03	5.495E+03	4.495E+03	3.495E+03	2.495E+03	1.495E+03	9.495E+02	4.495E+02	2.495E+02
MR	1.381E+04	4.522E+03	1.291E+03	1.263E+02	1.070E+02	7.495E+01	2.913E+01	4.584E+01	4.977E+01	5.064E+01	1.429E+01	2.485E+01	2.485E+01	2.485E+01	2.485E+01
PR	9.507E+03	1.471E+03	1.154E+03	1.084E+03	1.049E+03	1.033E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03	1.034E+03
SUMTOT	2.154E+08	2.103E+05	1.317E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05
TOTAL	2.144E+08	2.106E+05	1.312E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05

COMPARATIVE TABLE TOTALS

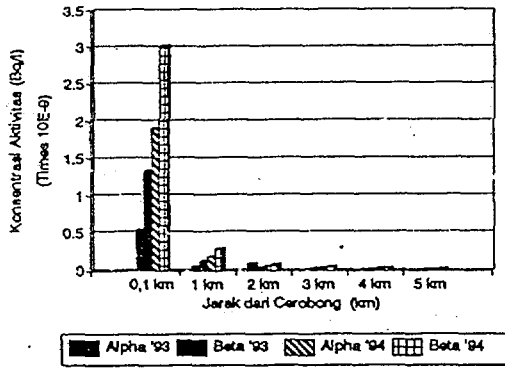
	1.144E+04	1.106E+05	1.312E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05
1P+1P	2.144E+04	1.106E+05	1.312E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05
ACT+P	2.144E+04	2.107E+05	1.312E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05
1P+ACT+P	2.144E+04	2.107E+05	1.312E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05	1.349E+05



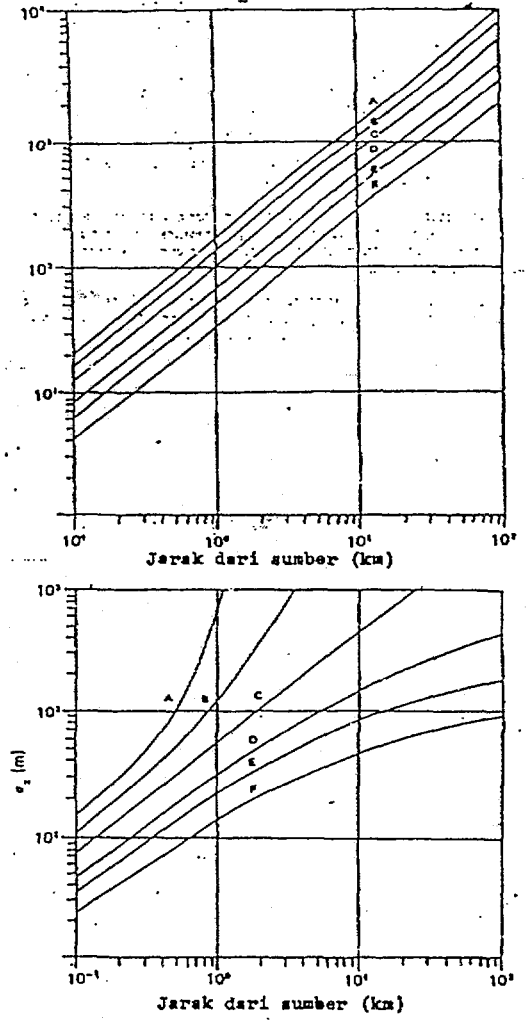
Gambar 1. Hubungan Aktivitas Gas Buang dengan Waktu



Gambar 2. Hubungan Laju Aktivitas Gas Buang dengan Waktu



Gambar 3. Konsentrasi Aktivitas Gas Buang Fungsi Jarak



Gambar 4. Hubungan antara jarak dari sumber dengan koefisien dispersi vertikal (d_z) dan horizontal (d_y)