PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI DALAM RUANGAN HR-05 INSTALASI ELEMEN BAKAR EKSPERIMENTAL

Suliyanto, Endang Sukesi I
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI DALAM RUANGAN HR-05 DI INSTALASI ELEMEN BAKAR EKSPERIMENTAL. Pemantauan kualitas udara di dalam ruangan *Hot Room-05* (HR-05) di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) telah dilakukan. Tujuan pemantauan adalah untuk mengetahui kualitas udara di dalam ruangan HR-05, antara lain konsentrasi debu, temperatur, kelembaban, dan laju ventilasi. Metoda pemantauan yang digunakan adalah mengukur konsentrasi debu, temperatur, kelembaban dan laju ventilasi di udara HR-05 pada 5 posisi yang berbeda. Konsentrasi debu yang diukur adalah $PM_{2,5}$ (partikulat debu *respirable*), menggunakan alat *Aerosol Monitor*. Temperatur dan kelembaban udara diukur menggunakan alat *Thermo Hygrometer*, sedangkan laju ventilasi diukur menggunakan alat *Digital anemometer*. Kualitas udara di dalam ruangan HR-05 tersebut, kemudian dibandingkan dengan persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri. Hasil pengukuran kualitas udara di dalam ruangan HR-05, sebagai berikut: konsentrasi partikulat debu *respirable* sebesar (0,053 ± 0,001) mg/m^3, temperatur sebesar (29,60 ± 0,38) ^{0}C, kelembaban sebesar (66,40 ± 0,50) %, laju ventilasi sebesar (0,16 ± 0,05) m/detik. Hasil pemantauan kualitas udara di dalam ruangan HR-05 di IEBE : konsentrasi partikulat debu *respirable* dan laju ventilasi memenuhi persyaratan, sedangkan temperatur dan kelembaban di atas batasan yang diizinkan pada persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002. Kualitas udara di dalam ruangan HR-05 belum sepenuhnya memenuhi persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, sehingga perlu dilakukan upaya peningkatan pengoperasian sistem ventilasi dan *aircondisioning (AC)* yang optimal.

Kata kunci : partikulat debu *respirable*, kelembaban, laju ventilasi, temperatur.

PENDAHULUAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah suatu instalasi nuklir yang digunakan untuk melaksanakan penelitian dan pengembangan (litbang) teknologi produksi bahan bakar nuklir. Daerah kerja IEBE didesain menjadi : *Hot Room* (HR) yaitu daerah kerja untuk menangani uranium terbuka dan *Cold Room* (CR) untuk menangani uranium tertutup atau sama sekali tidak menangani uranium. Sistem ventilasi di IEBE didesain dengan tekanan negatif yang bervariasi antar ruangan untuk menghindari kemungkinan penyebaran kontaminasi dari daerah kerja dengan resiko kontaminasi lebih tinggi ke daerah kerja yang lebih rendah/bersih. Kontaminan aerosol radioaktif maupun non radioaktif yang berasal dari laboratorium disaring dengan dua tingkat filtrasi sebelum dibuang ke udara luar. Sistem ventilasi dan pengkondisian udara berfungsi untuk menyelenggarakan pergerakan udara dari daerah berpotensi kontaminasi rendah ke daerah berpotensi kontaminasi yang lebih tinggi. Fungsi lain

dari sistem ventilasi adalah untuk kenyamanan pekerja. Pengaturan aliran udara yang benar dapat mengurangi atau meniadakan kemungkinan bahaya kontaminasi. Sistem aliran udara yang dipakai di IEBE adalah mengatur udara dengan hanya satu kali lewat. Pada sistem ini dimasukkan udara luar dengan *supply fan* dengan debit sebesar 100%. Tanpa sirkulasi ulang, udara masuk kemudian dibuang seluruhnya melalui sistem pembuangan udara (*exhaust air system*). Untuk mempertahankan tingkat kebersihan ruangan, udara masuk difiltrasi terlebih dahulu dengan cara melewatkannya pada suatu deretan filter (*Supply filter bank*). Laju pertukaran udara ruangan dengan udara segar (udara luar) dipersyaratkan minimal 5 kali per jam untuk ruang-ruang HR [1].

Berdasarkan Peraturan Kepala Batan Nomor 123/KA/VIII/2007 tentang rincian tugas unit kerja di lingkungan Batan, pada pasal 278 ayat 1, subbidang pengendalian daerah kerja mempunyai tugas melakukan pengendalian daerah kerja terhadap bahaya radiasi dan non-radiasi, dengan rincian tugas sebagai berikut :

1. melakukan pengendalian daerah kerja dari bahaya radiasi;
2. melakukan pengendalian daerah kerja dari bahaya non-radiasi;
3. melakukan pemetaan daerah radiasi dan kontaminasi fasilitas;
4. melakukan koordinasi pelaksanaan dekontaminasi daerah kerja.

Daerah pengendalian IEBE adalah bangunan laboratorium yang melaksanakan kegiatan litbang produksi bahan bakar nuklir. Radioaktivitas α (*gross*) di udara daerah kerja HR-05 IEBE pada tahun 2009 pada sebesar (3,129 ± 2,061) Bq/m^3, di bawah batasan yang diizinkan ≤ 20 Bq/m^3 [2]. Selain pengendalian daerah kerja dari bahaya radiasi, perlu juga dilakukan pengendalian daerah kerja dari bahaya non-radiasi, dengan melakukan pemantauan kualitas udara di dalam ruangan. Tujuan pemantauan adalah untuk mengetahui kualitas udara di dalam ruangan HR-05, antara lain konsentrasi debu, temperatur, kelembaban, dan laju ventilasi. Pada kegiatan ini dilakukan pemantauan kualitas udara berdasarkan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri.

Lingkungan yang bebas kontaminasi, pada kenyataannya sangat sulit tercapai. Meskipun demikian, pencapaian kualitas udara di dalam ruang secara optimal harus diusahakan agar sesuai dengan persyaratan kesehatan lingkungan. Partikulat debu *respirable* dapat terhirup dan mencapai daerah *alveoli* pada sistem pernafasan manusia. Lingkup kegiatan meliputi pengukuran $PM_{2,5}$ (partikulat debu *respirable*) menggunakan alat *Aerosol Monitor* untuk menangkap debu berdiameter 2,5 mikron.

Laju ventilasi diukur menggunakan alat *Digital Anemometer.* Temperatur dan kelembaban diukur menggunakan alat *Thermo Hygrometer*. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi untuk pengendalian parameter fisik kualitas udara (kandungan debu, temperatur dan kelembaban) di dalam ruangan HR-05 secara optimal.

TEORI

Ruangan merupakan tempat pekerja beraktivitas, dan waktu yang dihabiskannya lebih banyak dibandingkan di udara terbuka. Pada kenyataannya justru di dalam ruangan pekerja sering mengalami gangguan kesehatan yang dikenal sebagai *Sick building Syndrome* (SBS), merupakan kombinasi dari berbagai penyakit terkait dengan tempat individu bekerja (gedung perkantoran). Tahun 1984 organisasi kesehatan dunia *World Health Organization (WHO)* melaporkan bahwa hingga 30% dari bangunan di seluruh dunia berhubungan dengan masalah kualitas udara ruangan. Sebagian besar SBS adalah terkait dengan buruknya kualitas udara di dalam gedung, sering disebabkan oleh kekurangan dalam sistem pemanasan, ventilasi, dan pendingin udara. Penyebab lain disebabkan oleh kontaminan yang dihasilkan oleh gas yang keluar dari beberapa jenis bahan bangunan, senyawa organik *volatile*, jamur, ventilasi *exhaust* yang tidak baik, bahan kimia yang digunakan, atau asupan udara segar/ kurangnya penyaringan udara yang memadai. Gejala kesehatan yang dapat terjadi seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan, masalah kesehatan neurotoksik; iritasi kulit, reaksi hipersensitivitas tidak spesifik, dan sensasi bau dan rasa [3].

Pola udara di dalam bangunan merupakan hasil kombinasi dari sistem vantilasi dan kegiatan pengguna gedung. Perbedaan tekanan menyebabkan adanya pergerakan kontaminan dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah melalui celah yang ada. Keberadaan komponen di dalam gedung seperti dinding, atap lantai, peralatan dan pengguna gedung dapat mempengaruhi distribusi kontaminan. Berikut ini adalah pola alternatif jalur distribusi kontaminan [4]:

1. Sirkulasi lokal dalam ruangan yang mengandung kontaminan
2. Pergerakan udara ke ruang bertekanan lebih rendah
3. Pergerakan kontaminan dari bawah ke atas bangunan gedung
4. Pergerakan udara ke dalam gedung melalui infiltrasi udara luar

Pengendalian kualitas udara di dalam gedung terutama terletak pada desain gedung. Selain itu, perlu dilakukan pengambilan cuplikan udara di dalam ruangan secara berkala serta menganalisis dan membandingkannya dengan standar yang berlaku,

untuk menilai kualitas udara di dalam ruangan tersebut [4].

Persyaratan dan tata cara penyelenggaraan kesehatan lingkungan kerja perkantoran untuk udara ruangan berdasarkan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002, adalah sebagai berikut [5] :

1. Temperatur dan kelembaban
   - Temperatur : (18 ~ 28) ^{0}C.
   - Kelembaban : (40 ~ 60) %.
2. Debu

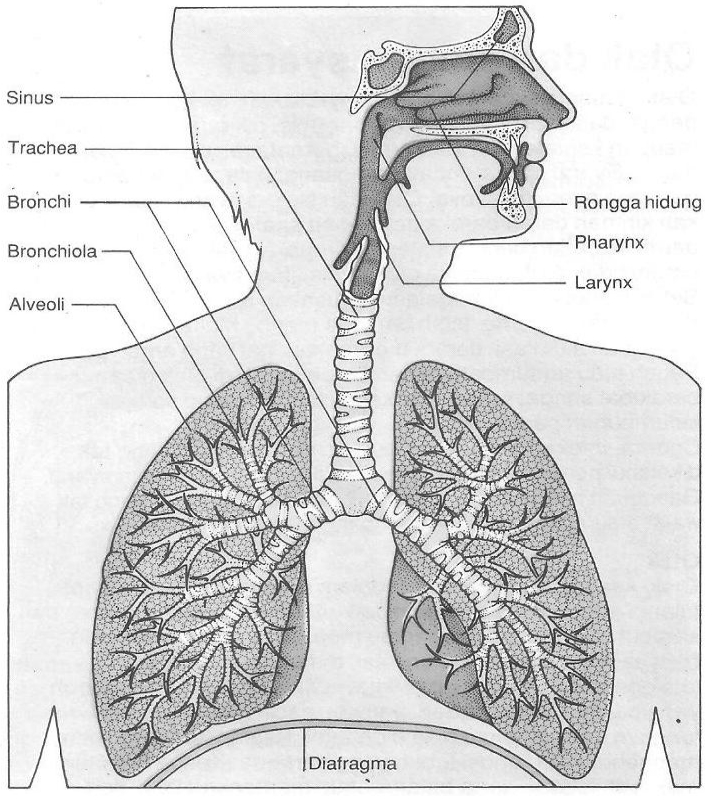
   Kandungan debu maksimal di dalam udara ruangan dalam pengukuran rata-rata 8 jam adalah sebagai berikut : konsentrasi maksimal debu adalah 0,15 mg/m^3.
3. Laju ventilasi

   Laju ventilasi adalah (0,15 ~ 0,25) m/detik. Untuk ruangan kerja yang tidak menggunakan pendingin harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan sistim ventilasi silang.

Debu merupakan partikulat padat yang berukuran antara 1 mikron sampai dengan 100 mikron. Debu didefinisikan sebagai suatu sistem *disperse* (aerosol) dari partikulat padat yang dihasilkan secara mekanik seperti *crushing* (penghancuran), *handling* (penghalusan) atau *grinding* (penggerindaan). Berdasarkan ukurannya, partikulat debu dibagi menjadi tiga kelompok yakni [6] :

1. Partikulat debu *inhalable*, merupakan partikulat debu yang dapat terhirup ke dalam mulut atau hidung serta berbahaya bila tertimbun dimanapun dalam saluran pernafasan.
2. Partikulat debu *thoracic*, merupakan partikulat debu yang dapat masuk ke dalam saluran pernafasan atas dan masuk ke dalam saluran udara di paru-paru.
3. Partikulat debu *respirable*, adalah partikulat *airborne* yang dapat terhirup dan dapat mencapai daerah *bronchiola* sampai *alveoli* di dalam sistem pernafasan. Partikulat debu jenis ini berbahaya bila tertimbun di *alveoli* yang merupakan daerah pertukaran gas di dalam sistem pernafasan.

Sistem pernafasan manusia secara garis besar terdiri dari paru-paru dan susunan saluran yang menghubungkan paru-paru dengan lainnya, yaitu hidung, *pharynx*, pangkal tenggorok, tenggorok, cabang tenggorok. Udara dihisap melalui hidung dan mulut dilewatkan *trachea* (tabung udara), lalu melalui saluran-saluran percabangan (*bronchi* dan *bronchiola*) masuk ke paru-paru. Sistem saluran pernafasan manusia dapat dilihat pada Gambar-1.



Gambar-1. Sistem pernafasan manusia [7]

Debu merupakan salah satu polutan sebagai partikulat di udara (*Particulate Matter*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 100 mikron. Partikulat debu akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang di udara, kemudian dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Partikulat ini bervariasi dalam bentuk, ukuran dan komposisi kimia, dan dapat terdiri dari berbagai bahan seperti logam, jelaga, tanah, dan debu. *Coarse particle* merupakan debu dari udara *ambient* yang berukuran ≥ 2,5 mikron dan biasanya terbentuk dari proses mekanik dan permukaan debu yang tersuspensi. Partikulat berdiameter 10 mikron atau kurang dari 10 mikron didefinisikan sebagai PM_{10}. Partikulat halus yang berdiameter 2,5 mikron atau kurang dari 2,5 mikron didefinisikan sebagai $PM_{2,5}$ (partikulat debu *respirable*), juga dapat memberi kontribusi kepada pengurangan jarak penglihatan (Tabel-1).

Tabel-1. Fraksi dan ukuran partikulat debu di udara [8]

FRAKSI	UKURAN PARTIKULAT
PM_{10} (*thoracic*)	≤ 10 µm
$PM_{2.5}$ (*respirable*)	≤ 2.5 µm
PM_1	≤ 1 µm
Ultrafine (UFP atau UP)	≤ 0.1 µm
PM_{10}-$PM_{2.5}$ (*coarse fraction*)	2.5 µm – 10 µm

METODOLOGI

Metoda pemantauan dilakukan dengan mengukur konsentrasi debu, temperatur, kelembaban dan laju ventilasi di udara HR-05 pada 5 posisi yang berbeda. Konsentrasi debu yang diukur adalah $PM_{2,5}$ (partikulat debu *respirable*), menggunakan alat *Aerosol Monitor*. Temperatur dan kelembaban udara diukur menggunakan alat *Thermo Hygrometer*, sedangkan laju ventilasi diukur menggunakan alat *Digital anemometer*. Kualitas udara di dalam ruangan HR-05, kemudian dibandingkan dengan persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri.

Alat Yang Digunakan

1. *Aerosol Monitor*

   Alat Aerosol Monitor (Dust trak Pro) digunakan untuk menangkap debu berdiameter 10 mikron, 2,5 mikron hingga 1 mikron dengan radius ± 1 meter.

2 *Thermo Hygrometer*

   Alat *Thermo Hygrometer* digunakan untuk mengetahui temperatur dan kelembaban relatif pada ruangan yang diukur yang dapat langsung dilihat hasilnya.

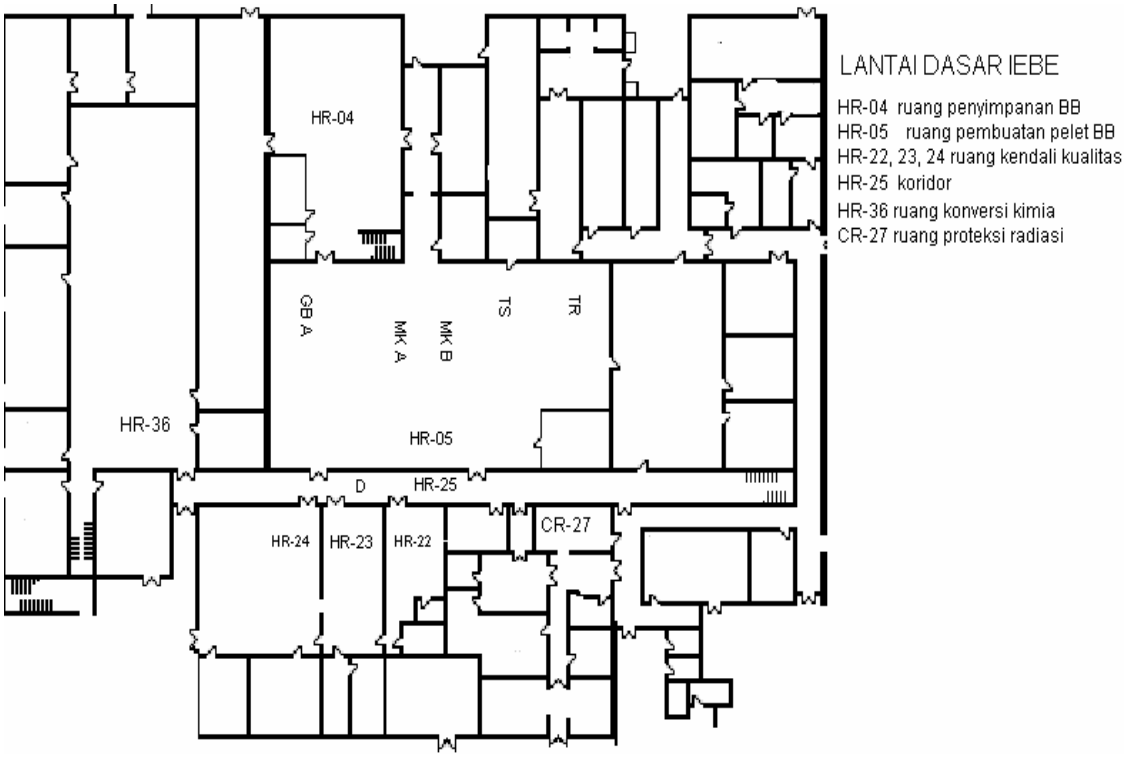
3. *Digital anemometer*

   Alat *Digital Anemometer* digunakan untuk mengukur laju alir udara (ventilasi) yang dihisap (*Exhaust*) dari ruang HR-05.

Cara Kerja

Letakkan alat *Dust trak Pro* pada posisi GB A (Gambar 2), sebelum mengoperasikan alat perlu dilakukan penyesuaian interval waktu yang diinginkan dengan menyambungkan alat pada komputer. Kemudian pasang filter untuk debu berdiameter 2,5 mikron ($PM_{2,5}$) terlebih dahulu sebelum *Air Sampler Inlet* dipasang.

Atur waktu dan jenis *survey mode*/ *logged mode* sesuai kebutuhan. Setelah selesai, data yang ada ditransfer ke komputer terlebih dahulu agar dapat dihapus menggunakan tombol *clear survey*. Pada saat yang sama lakukan pengukuran temperatur dan kelembaban menggunakan alat *Thermo Hygrometer,* serta laju alir udara menggunakan alat *Digital Anemometer*. Selanjutnya lakukan pengukuran yang sama berturut-turut pada posisi : MK A, MK B, TS dan TR. Hasil pengukuran kualitas udara di dalam ruangan HR-05, kemudian dibandingkan dengan persyaratan persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002.



Gambar-2. Posisi pengukuran kualitas udara di dalam ruangan HR-05

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kualitas udara di dalam ruangan HR-05 pada tanggal 11 Februari 2010 (Tabel 2), sebagai berikut :

- Konsentrasi partikulat debu *respirable* di dalam ruangan HR-05 sebesar (0,053 ± 0,001) mg/m^3, memenuhi persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/ XI/2002 sebesar 0,15 mg/m^3.
- Temperatur sebesar (29,60 ± 0,38) ^{0}C, diatas batasan yang diizinkan pada persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 sebesar (18 ~ 28) ^{0}C.

- Kelembaban sebesar (66,40 ± 0,50) %, diatas batasan yang diizinkan pada persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 sebesar (40 ~ 60) %.
- Laju ventilasi sebesar (0,16 ± 0,05) m/detik, memenuhi persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 sebesar (0,15 ~ 0,25) m/detik.

Tabel-2. Hasil pengukuran parameter fisik udara ruang HR-05

Ruang / Posisi ukur	$PM_{2,5}$ (mg/m^3)	Temperatur (^0C)	Kelembaban (%)	Laju ventilasi (m/detik)
HR-05/ GB A	0,057	29	66	0,2
HR-05/ MK A	0,053	30	67	0,1
HR-05/ MK B	0,052	30	66	0,1
HR-05/ TS	0,053	29	66	0,2
HR-05/ TR	0,050	30	67	0,2
Rata-rata	**(0,053±0,001)**	**(29,60±0,38)**	**(66,40±0,50)**	**(0,16±0,05)**

Konsentrasi partikulat debu *respirable* dan laju ventilasi di dalam ruangan HR-05 memenuhi persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002. Walaupun konsentrasi partikulat debu *respirable* tersebut memenuhi persyaratan konsentrasi maksimal yang diizinkan, namun dapat terhirup dan mencapai daerah *brochiola* sampai *alveoli* pada sistem pernafasan manusia. Partikulat debu *respirable* tersebut dapat berbahaya jika tertimbun di dalam *alveoli* yang merupakan daerah pertukaran udara di dalam sistem pernafasan. Untuk temperatur dan kelembaban, diatas batasan yang diizinkan pada persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/ XI/2002. Sehingga upaya penyehatan udara di dalam ruangan HR-05 masih perlu dilakukan dengan pendekatan yang terintegrasi untuk memisahkan dan mengendalikan pencemaran, penyaringan, serta ventilasi yang cukup. Upaya penyehatan udara di dalam ruangan, antara lain:

1. Kegiatan membersihkan lantai ruangan secara rutin.
2. Kegiatan membersihkan dinding ruangan secara rutin.
3. Pengoperasian sistem ventilasi dan *AC* yang memenuhi syarat.

KESIMPULAN

Hasil pemantauan kualitas udara di dalam ruangan HR-05 di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental: konsentrasi partikulat debu *respirable* dan laju ventilasi memenuhi persyaratan, sedangkan temperatur dan kelembaban di atas batasan yang diizinkan pada persyaratan Kepmenkes R.I No. 1405/MENKES/SK/XI/2002. Kualitas udara di dalam ruangan HR-05 belum sepenuhnya memenuhi persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, sehingga perlu dilakukan upaya peningkatan pengoperasian sistem ventilasi dan *AC* yang optimal.

DAFTAR PUSATAKA

1. ANONIM, “Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental”, No. Dok. KK20J09003, revisi 6, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN, Tahun 2007.
2. SULIYANTO, “Pengendalian Daerah Radiasi dan Kontaminasi IEBE dan IRM Tahun 2009”, Prosiding Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2009, ISSN 0854 – 5561, 2010.
3. ANONIM, “*Sick Building Syndrome*, Wikimedia Foundation, Inc.”, This page was last modified on 3 August 2010.
4. TILLMAN, MORTON, “*Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects”*, 2nd ed., Jhon sons, 2006.
5. DEPARTEMEN KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA, “Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri”, Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1405/MENKES/SK/XI/2002, Jakarta, 2002.
6. RUZER, HARLEY, “A*erosol Handbook: Measurement, Dosimetry and Health Effects”*, CRC press, 2005.
7. SOEHARDJO H., “Dokter Di Rumah Anda”, Dian Rakyat, ISBN 979-523-055-7, cetakan kedua, 1995.
8. ANONIM*, “Particulate Matter”*, API Home*,* Environment Health Safet*y*, 2009.