

ANALISIS PERHITUNGAN KETINGGIAN CEROBONG PADA AEET 10 MeV DENGAN KONDISI TANPA SISTEM VENTILASI

Rissa Damayanti, Puji Santoso, Hana Subhiyah
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN
Gedung 71, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
rissa@batan.go.id ; santosopuji@gmail.com ; hana@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN KETINGGIAN CEROBONG PADA AEET 10 MeV DENGAN KONDISI TANPA SISTEM VENTILASI. Saat Akselerator elektron dioperasikan, akan terjadi interaksi antara berkas elektron yang keluar dari window terhadap medium udara pada daerah iradiasi dan mengakibatkan terbentuknya gas ozon (O₃). Analisis perhitungan yang dilakukan meliputi estimasi ketinggian minimal cerobong pada instalasi AEET 10 MeV untuk memenuhi persyaratan paparan konsentrasi ozon di udara agar tidak melebihi nilai batas yang diizinkan yaitu 0,1 ppm. Untuk melakukan perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan model dispersi Gauss. Data yang digunakan dalam melakukan perhitungan adalah kecepatan angin minimal adalah 1,5 m/detik dan kecepatan angin maksimal adalah 6 m/detik untuk wilayah sekitar rencana pembangunan akselerator pada saat pagi, siang dan malam hari. Variasi jarak pemaparan menurut arah angin tersebut diambil dari hasil data studi sebelumnya yaitu dari 1 meter dengan nilai ozon beserta material campurannya (75% PE, 25% SS), yang salah satu materialnya berasal dari kabel yaitu sebesar 2,35 ppm/s. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diperoleh ketinggian minimal cerobong sebesar 5,7 m. Konsentrasi ozon yang keluar dari cerobong iradiator dipengaruhi oleh beberapa hal yang salah satu faktornya yaitu ketinggian semburan ozon (Δh). Ketinggian semburan dapat berubah-ubah hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kecepatan angin, kecepatan emisi gas buang, kecepatan linear gas buang dalam cerobong, percepatan gravitasi, kelas kestabilan udara, serta selisih antara temperatur gas buang dan temperatur udara lingkungan. Semakin tinggi Δh akan semakin menguntungkan, karena akan menyebabkan ketinggian efektif cerobong menjadi lebih tinggi. Dengan demikian proses pengenceran konsentrasi kontaminan di udara semakin baik dan sebaran akan menempuh jarak yang lebih jauh, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap penurunan kualitas udara ambient.

Kata kunci : Akselerator Elektron Energi Tinggi (AEET), Cerobong AEET, Ozon.

ABSTRACT

ANALYSIS OF CEROBONG HEIGHT CALCULATIONS ON A 10 MEV AEET WITH NO VENTILATION CONDITIONS. When an electron accelerator is operated, there will be an interaction between the electrons coming out of the window and the air medium in the irradiation area and the formation of ozone gas (O₃). Analysis of calculations has been carried out on the calculation of the minimum stack height at the 10 MeV AEET installation to meet the requirements for setting the ozone concentration in the air so as not to exceed the approved limit value is 0.1 ppm. This calculation is done using the Gauss dispersion model. The data used in calculating the minimum wind speed is 1.5 m / sec and the maximum wind speed is 6 m / sec for the area around the accelerator development plan in the morning, afternoon and night. The expose variation distance in the wind direction is taken from previous study that is 1 meter with the value of Ozone mixed with other materials (75% PE, 25% SS), one of which is from cable, is 2.35 ppm / s. From the results of calculations that have been done, the minimum chimney height is 5.7 m. The ozone concentration that comes out of the flare of the irradiator is affected by several factors, one of which is the height of the ozone burst (Δh). The height of bursts can vary due to several factors, including wind speed, exhaust gas emissions, linear exhaust gas velocity, acceleration of conversion, air stability class, and the difference between exhaust gas temperature and air temperature. The higher Δh is more advantageous, because it will increase the effective height of chimney. Thus the process of diluting the concentration in

the air is getting better and the distribution will be much farther, further reducing the negative impact to ambient air quality.

Keywords: Energy Electron Accelerator (HEEA), Chimney of HEEA , Ozone.

1. PENDAHULUAN

Pada saat akselerator elektron dioperasikan, akan terjadi interaksi antara berkas elektron yang keluar dari *window* dengan medium udara pada daerah iradiasi yang mengakibatkan terbentuknya gas ozon (O₃). Guna menunjang proses iradiasi di dalam ruang iradiasi akselerator elektron, dibutuhkan pengkondisian udara untuk mengeluarkan gas ozon dari ruang iradiasi, agar diperoleh pergantian udara segar dan sehat sehingga dapat memberikan jaminan keselamatan bagi pekerja maupun lingkungan sekitar instalasi iradiator berada. Ozon merupakan gas beracun dan bersifat reaktif sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia serta merusak komponen peralatan.

Merujuk pada Perka BAPETEN nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang izin konstruksi dan operasi iradiator, pertukaran udara ruangan iradiasi membutuhkan minimal 20 kali pergantian udara per jam atau konsentrasi ozon di udara tidak melebihi nilai batas yang diizinkan yaitu 0,1 ppm. Makalah ini membahas analisis perhitungan ketinggian cerobong pada AEET 10 MeV dengan kondisi tanpa sistem ventilasi, untuk mengetahui tinggi minimal cerobong yang dibutuhkan agar memenuhi standar yang diizinkan tersebut.

2. DASAR TEORI

Pergerakan pencemaran udara di dalam atmosfer terjadi dalam tiga dimensi secara horizontal maupun transversal, sesuai dengan arah angin (adveksi) maupun vertikal, ke lapisan atas atmosfer bumi^[4]. Dinamika serta atmosferik merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan pencemar udara setelah diemisikan dari sumbernya, sehingga timbul kaitan yang erat antara sumber O₃ dengan daerah penerima. Menurut Budirahardjo^[3], sumber-sumber emisi yang menyebabkan terjadinya kontaminasi di udara terbagi menjadi tiga (3) kelompok, yaitu: sumber emisi bergerak, sumber titik tetap, dan sumber campuran.

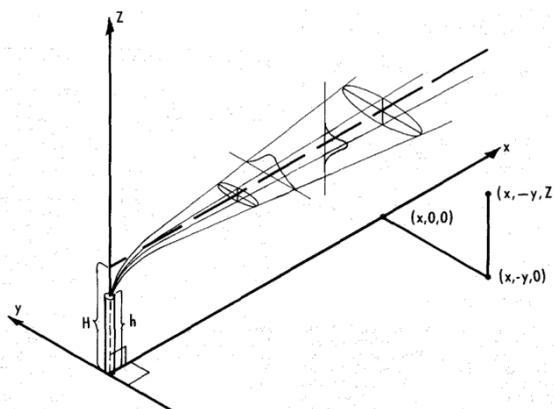
Salah satu contoh sumber titik tetap yaitu cerobong asap. Emisi yang dikeluarkan melalui cerobong tersebut pasti akan mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas udara sekitar jika tidak dilakukan penanganan yang baik. Oleh karena itu, analisis perhitungan yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui komponen-komponen parameter pemodelan udara emisi sumber titik tetap, sehingga didapatkan perkiraan besarnya paparan kontaminan ozon yang dihasilkan untuk perencanaan penanganan kontaminasi tersebut di udara sekitar.

Sistem Cerobong

Cerobong udara harus dibuat dengan mempertimbangkan aspek pengendalian pencemaran udara yang didasarkan pada lokasi dan tinggi cerobong. Pertimbangan kondisi meteorologis dan tata guna tanah merupakan salah satu pertimbangan untuk mendapatkan lokasi dan tinggi cerobong yang tepat, dimana dengan perhitungan *modelling* pencemaran udara akan dapat menentukan dispersi udara, dari cerobong terhadap kondisi udara sekitarnya. Berdasarkan pada dispersi udara, dapat ditentukan konsentrasi udara di atas permukaan tanah yang sesuai dengan standar kualitas udara ambien. Rancang bangun atau disain cerobong disesuaikan kondisi pabrik dengan pertimbangan emisi yang akan dikeluarkan tidak melebihi baku mutu emisi yang ditetapkan. Beberapa persyaratan perencanaan cerobong secara umum seperti berikut:

1. Tinggi cerobong sebaiknya 2 - 2 1/2 kali tinggi bangunan sekitarnya sehingga lingkungan sekitarnya tidak terkena turbulensi.
2. Kecepatan aliran gas dari cerobong sebaiknya lebih besar dari 20 m/detik sehingga gas-gas yang keluar dari cerobong akan terhindar dari turbulensi.
3. Gas-gas dari cerobong dengan diameter lebih kecil dari 5 feet dan tinggi kurang dari 200 feet akan mengakibatkan konsentrasi di bagian bawah akan menjadi tinggi.
4. Konsentrasi maksimum bagian permukaan tanah dari cerobong gas-gas (agar terjadi difusi) biasanya terjadi pada jarak 5 - 10 kali tinggi cerobong *downwind*.
5. Konsentrasi maksimum zat pencemar berkisar antara 0,001 - 1% dari konsentrasi zat pencemar dalam cerobong.
6. Konsentrasi di permukaan dapat dikurangi dengan menggunakan cerobong yang tinggi. Variasi konsentrasi pencemar pada permukaan akan berbanding terbalik dengan kuadrat tinggi cerobong efektif.
7. Warna cerobong harus mencolok sehingga mudah terlihat.
8. Cerobong dilengkapi dengan pelat penahan angin yang melingkari cerobong secara memanjang ke arah ujung atas.
9. Puncak cerobong sebaiknya terbuka, jika pihak industri menganggap perlu untuk memberi penutup (biasanya cerobong kecil/rendah) maka penutup berbentuk segitiga terbalik (terbuka ke atas).
10. Setiap cerobong diberi nomor dan dicantumkan dalam denah industri.
11. Disamping itu di sekitar cerobong sebaiknya dilengkapi dengan tempat parkir sehingga kendaraan *sampling* dapat sedekat mungkin dengan lubang *sampling*.
12. Apabila cerobong tidak sesuai dengan ketentuan di atas (untuk industri yang beroperasi sebelum dan sejak tahun 1995), maka perlu dilakukan modifikasi perlakuan gas buang. Hal tersebut dilakukan dengan mengubah kecepatan serta temperatur gas, sehingga akan diperoleh tinggi cerobong efektif yang lebih tinggi.

Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan Model Dispersi Gauss. Pemodelan ini dapat menyatakan secara sederhana penyimpangan partikel di udara terhadap waktu. Banyaknya polutan yang dikeluarkan secara tetap dari cerobong asap (Q) akan terbawa angin dengan kecepatan u dalam arah horizontal (x) dengan kerapatan massa Q/u . Untuk polutan yang tidak bereaksi, massa polutan yang terkandung dalam setiap volume dan setiap jarak akan sama harganya. Akan tetapi kadarnya akan berkurang sesuai dengan bertambahnya jarak, karena turbulensi atmosfer cenderung menyebarkan material ke arah horizontal dan vertikal. Kadar rata-rata polutan pada suatu titik akan berbanding terbalik terhadap lebar sebaran dan kecepatan angin dalam sistem koordinat tiga-dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, terdapat cerobong pada titik pusat, dengan jarak jatuhnya asap dinyatakan oleh x , melebarannya asap dinyatakan oleh y , dan tinggi semburan asap dinyatakan oleh z .



Gambar 1. Sistem koordinat sebaran asap yang memperlihatkan distribusi Gauss dalam arah horizontal dan vertikal.

3. TATA KERJA

Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan adalah kecepatan angin minimal 1,5 m/detik dan kecepatan angin maksimal 6 m/detik untuk wilayah sekitar rencana pembangunan akselerator pada saat pagi, siang dan malam hari, dengan variasi jarak pemaparan menurut arah angin dari 1 meter serta nilai ozon yang diperoleh dari makalah sebelumnya [2] dengan material campuran (75% PE, 25% SS) yang salah satu materialnya adalah kabel, adalah sebesar 2,35 ppm/s.

Setelah menganalisis kondisi tersebut, maka dapat ditentukan point-point parameter yang dapat digunakan dalam merancang permodelan udara emisi. Berikut ini Tabel 1 adalah tabel kelas kestabilan udara ditentukan dari besarnya kecepatan angin pada ketinggian cerobong.

Tabel 1. Kelas Kestabilan Udara

Kecepatan Angin (m/detik)	Pagi / Siang			Malam		Dimana A (sangat tidak stabil) B (sedang) C (sedikit tidak stabil) D (netral) F (stabil)
	Intensitas Sinar Matahari			Keadaan Awan		
	Kuat	Sedang	Lemah	Berawan	Cerah	
< 2	A	A – B	B	E	F	A (sangat tidak stabil) B (sedang) C (sedikit tidak stabil) D (netral) F (stabil)
2 – 3	A – B	B	C	E	F	
3 – 5	B	B – C	C	D	E	
5 – 6	C	C – D	D	D	D	
> 6	C	D	D	D	D	

- Untuk persoalan cemaran (terhadap penduduk dan ekosistem) untuk permukaan tanah, maka bentuk persamaan dispersi gauss yang digunakan dengan $y = 0$, $z = 0$, adalah :

$$\chi(x,0,0;H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- Q = Laju emisi ozon (g/detik)
- σ_y = koefisien dispersi Gauss horizontal (m)
- σ_z = koefisien dispersi Gauss vertikal (m)
- U = kecepatan angin arah sumbu x (m/detik)
- H = ketinggian efektif cerobong (m)

Tabel 2. Tabel Koefisien Dispersi Gauss^[1]

Stabilitas (kelas)	x < 1 km				x > 1 km		
	a	c	d	F	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2
C	104	61	0,911	0	61	0,911	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34
F	34	14,4	0,740	-0,35	62,6	0,180	-48,6

Catatan : harga b = 0,894 untuk semua kelas
 $\sigma_y = aX^b$ dan $\sigma_z = cX^d + f$
 X = jarak konsentrasi sebaran (km)

Untuk menghitung dispersi Gauss di atas, digunakan kelas kestabilan udara pada Tabel 1, sehingga diperoleh konstanta-konstanta pembentuk koefisien-dispersi Gauss pada Tabel 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan tinggi cerobong dengan kondisi konsentrasi sebaran ozon tertinggi berada pada permukaan tanah dengan x (1,2,3,4,5,6 meter); $y = 0$; $z = 0$. Perhitungan ini didasarkan pada asumsi bahwa untuk nilai sebaran ozon tertinggi berada pada kondisi kecepatan angin paling minimal, yaitu pada perhitungan ini digunakan $U = 1,5$ m/detik. Kestabilan udara digunakan kelas A (sangat tidak stabil) pada pagi/siang dengan intensitas matahari kuat. Dengan kondisi tersebut dan dengan data yang ada pada Tata Kerja diatas, diperoleh hasil perhitungan menggunakan Persamaan 1 dan Tabel 2 diatas sebagai berikut:

$$\sigma_y = aX^b = 213 \times 0,001^{0,894} = 0,442975 \text{ m}$$

$$\sigma_z = cX^d + f = 440,8 \times 0,001^{1,941} + 9,27 = 9,2707 \text{ m}$$

$$\chi(x,0,0;H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

$$0,1 \text{ ppm} = \frac{2,35 \text{ ppm/s}}{3,14 \times 0,442975 \times 9,2707 \times 1,5 \text{ m/s}} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{9,2707} \right)^2 \right]$$

$$H = 5,7 \text{ m}$$

Konsentrasi ozon yang keluar dari cerobong iradiator dipengaruhi oleh beberapa hal yang salah satu faktornya yaitu ketinggian semburan ozon (Δh). Ketinggian semburan dapat berubah-ubah hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kecepatan angin, kecepatan emisi gas buang, kecepatan linear gas buang dalam cerobong, percepatan gravitasi, kelas kestabilan udara, serta selisih antara temperatur gas buang dan temperatur udara lingkungan. Semakin tinggi Δh akan semakin menguntungkan, karena akan menyebabkan ketinggian efektif cerobong menjadi lebih tinggi. Dengan demikian proses pengenceran konsentrasi kontaminan di udara semakin baik dan sebaran akan menempuh jarak yang lebih jauh, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap penurunan kualitas udara *ambient*.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan ketinggian cerobong pada AEET 10 MeV dengan kondisi tanpa sistem ventilasi, dimanauntuk memenuhi persyaratan paparan konsentrasi ozon di udara tidak melebihi nilai batas yang diizinkan, yaitu 0,1 ppm, diperoleh ketinggian minimal cerobong sebesar 5,7 m.

Selain ketinggian efektif dari cerobong, hal lain yang mempengaruhi besar sebaran ozon yang keluar di sekitar instalasi iradiator adalah kapasitas dari *blower* penghisap ozon. Semakin besar energi dari sistem akselerator yang digunakan selama proses iradiasi, Semakin besar pula kapasitas *blower* penghisap yang dibutuhkan. Dengan demikian diperlukan juga perhitungan serta desain *blower* efektif sebagai alat penghisap ozon untuk memenuhi persyaratan yang diizinkan tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D.Bruce Turner., 1971, "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", Research Triangle Park, North Carolina.
- [2]. Hana Subhiyah, dkk., 2018, "Perhitungan Konsentrasi Ozon di Ruang Iradiasi Pada Akselerator Elektron Energi Tinggi", Jurnal Perangkat Nuklir-PRFN, BATAN.
- [3]. Budirahardjo, E., 2000, *Prediksi Dampak Penurunan Kualitas Udara Dengan Modeling Matematika*, Universitas Trisakti, Jakarta.

- [4]. Fatimah,R., 2008, *Pemantaun Partikulat di Udara Ambien secara Simultan untuk Daerah Urban dan Non-urban*, Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan)
- [5]. Wardhana, W.A., 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.