

ABSTRAK

PENGEMBANGAN FAKTOR EMISI DAN INVENTARISASI EMISI *PARTICULATE MATTER* 2.5 μm (PM_{2.5}) DAN *BLACK CARBON* (BC) DARI PEMBAKARAN TERBUKA LIMBAH PERTANIAN (STUDI KASUS PROVINSI JAWA BARAT)

Oleh
Hafidawati
NIM: 35313005
(Program Studi Doktor Teknik Lingkungan)

Pembakaran terbuka di lahan pertanian adalah cara yang umum dilakukan oleh petani di Indonesia untuk menghilangkan residu setelah panen karena metode ini adalah cara yang mudah dan murah untuk mengatasi limbah di lahan pertanian. Namun, kegiatan ini memberikan dampak terhadap lingkungan dan manusia karena pembakaran terbuka residu pertanian merupakan salah satu sumber utama emisi *particulate matter* 2.5 μm (PM_{2.5}). Selain itu, diemisikan juga *Short Lived Climate Pollutants* (SLCPs) sehingga aktivitas ini memiliki efek potensial pada kualitas udara, atmosfer, dan perubahan iklim. Salah satu SLCPs adalah *black carbon* (BC) dimana BC dapat memberikan dampak terhadap peningkatan suhu permukaan bumi sehingga akan mempengaruhi terjadinya perubahan iklim. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengembangkan faktor emisi dan inventarisasi emisi PM_{2.5} dan BC dari pembakaran limbah pertanian (jerami padi, brangkasan jagung, dan sangrah tebu) di Provinsi Jawa Barat dengan pendekatan *bottom up-tier* 3. Selain itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan distribusi spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan merumuskan skenario mitigasi emisi PM_{2.5} dan BC dari aktivitas pembakaran limbah pertanian di Provinsi Jawa Barat.

Eksperimen pembakaran dilakukan di lapangan dan dengan ruang pembakaran tipe *Open Burning Test Facility* (OBTF). Teknis pembakaran mengikuti kebiasaan petani yaitu dengan sistem ditumpuk dan dengan api yang membara (*smoldering*). Pengambilan sampel PM_{2.5} dari asap pembakaran menggunakan alat *MiniVol Sampler* kemudian dilakukan analisis laboratorium untuk mengetahui konsentrasi PM_{2.5} dan BC yang terkandung dalam PM_{2.5} serta karakteristik limbah pertanian yang dibakar yang meliputi kadar air, kadar abu, *fix carbon*, dan kadar karbon. Analisis konsentrasi PM_{2.5} dilakukan dengan metode gravimetri sedangkan konsentrasi BC dianalisis menggunakan metode reflaktansi cahaya menggunakan alat *smoke stain reflectometer*. Penentuan karakteristik limbah pertanian dilakukan dengan analisis proksimat dan ultimat. Selama sampling berlangsung, dilakukan juga pengukuran kondisi meteorologi (arah dan kecepatan angin,

temperatur, tekanan, dan kelembaban udara) dan karakteristik pembakaran (faktor pembakaran dan efisiensi pembakaran).

Perhitungan beban emisi $PM_{2.5}$ dan BC mengacu kepada *Atmospheric Brown Cloud-Emission Inventory Manual* (ABC-EIM) dengan menggunakan faktor emisi dan data aktivitas spesifik untuk pembakaran di Jawa Barat. Kedua nilai ini diperoleh dari hasil survei, pengukuran, dan perhitungan selama periode penelitian tahap satu sampai tahap tiga yang dilakukan pada tahun 2015 sampai tahun 2017. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini meliputi nilai faktor emisi $PM_{2.5}$ yaitu sebesar 0,975 mg/kg untuk pembakaran jerami padi, 1,675 mg/kg untuk pembakaran brangkas jagung, dan 0.121 mg/kg untuk pembakaran tebu. Adapun faktor emisi BC adalah sebesar 0,139 mg/kg untuk pembakaran jerami padi, 0,162 mg/kg untuk pembakaran brangkas jagung, dan 0,062 mg/kg untuk pembakaran tebu.

Data aktivitas spesifik yang ditentukan dalam menghitung beban emisi pembakaran limbah pertanian meliputi produksi tanaman, rasio residu/produksi tanaman, rasio residu limbah/tanaman (berat kering), fraksi pembakaran, dan efisiensi pembakaran. Hasil perhitungan beban emisi $PM_{2.5}$ total se-Jawa Barat diperoleh nilai untuk jerami padi adalah sebesar 2.822,2 ton/tahun, untuk brangkas jagung adalah sebesar 709,6 ton/tahun, dan untuk sangrah tebu adalah sebesar 4,5 ton/tahun. Adapun beban emisi total untuk BC se-Jawa Barat adalah 497,9 ton/tahun untuk emisi dari jerami padi, 42,4 ton/tahun untuk emisi brangkas jagung, dan 2,2 ton/tahun untuk emisi dari sangrah tebu. Berdasarkan total beban emisi $PM_{2.5}$ se-Jawa Barat, kontribusi sumber emisi terbesar adalah dari pembakaran jerami padi dengan persentase sebesar 79,7%.

Distribusi spasial dari hasil *grid* dengan Sistem Informasi Geografis menunjukkan penyebaran emisi $PM_{2.5}$ dan BC dominan dari pembakaran jerami padi ke arah utara Provinsi Jawa Barat yaitu sekitar Kabupaten Indramayu, Subang, dan Karawang, sedangkan emisi BC yang dominan bersumber dari pembakaran sangrah tebu terdistribusi ke arah timur laut Provinsi Jawa Barat yaitu sekitar Kabupaten Cirebon, Majalengka, dan Kuningan.

Hasil analisis dengan metode Monte Carlo memberikan nilai ketidakpastian dalam rentang nilai 40% – 60% untuk faktor emisi $PM_{2.5}$, 70% – 85% rentang nilai ketidakpastian untuk faktor emisi BC dan 10% – 80% untuk ketidakpastian data aktivitas. Jika dibandingkan dengan tingkat ketidakpastian pada pengukuran *tier* 1 (-76% + 131%) oleh Permadi dan Kim Oanh (2013) hasil perhitungan dengan *tier* 3 ini berada pada rentang nilai yang lebih rendah tingkat ketidakpastiannya. Hal ini menunjukkan hasil inventarisasi emisi dengan *tier* 3 memberikan hasil ketidakpastian lebih rendah.

Skenario mitigasi emisi yang dapat diterapkan untuk mereduksi emisi $PM_{2.5}$ dan BC dari pembakaran limbah pertanian di Jawa Barat, diantaranya adalah pengembangan teknologi tepat guna pembuatan briket dari limbah pertanian yang akan mengurangi limbah yang dibakar sebanyak 5%. Opsi pertama ini dapat mengurangi emisi $PM_{2.5}$ dari pembakaran jerami padi sebesar 18%, untuk brangkas jagung sebesar 27%, dan dari sangrah tabu sebesar 11,9%. Opsi kedua

adalah dengan pemanfaatan limbah pertanian sebagai suplemen pakan ternak untuk mencapai target reduksi emisi sebesar 30% pada tahun 2030. Kedua opsi ini dapat dikembangkan di masyarakat sebagai solusi untuk mengatasi terjadinya peningkatan aktivitas pembakaran limbah pertanian di masyarakat pedesaan.

Kata kunci: *black carbon*, inventarisasi emisi, limbah pertanian, Jawa Barat, PM_{2.5}, pembakaran terbuka, ruang pembakaran.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF EMISSION FACTOR AND EMISSION INVENTORY FOR PARTICULATE MATTER 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) AND BLACK CARBON (BC) FROM CROP RESIDUE OPEN BURNING (CASE STUDY AT WEST JAVA PROVINCE)

By

Hafidawati

NIM: 35313005

(Doctoral Program in Environmental Engineering)

Open burning of agricultural residues on the field is a common way to eliminate crop residues after harvest because this method is an easy and inexpensive way to deal with waste on the agricultural field. However, this activity has an impact on humans and environment because it is a major composer of the 2.5 microns particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$) material and also Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs) which has the potential effect of air, atmospheric, and climate change. One of SLCP is black carbon (BC), that its effect would increase the earth temperature that will cause climate change. The purpose of this study is to develop emission factors and inventory of $\text{PM}_{2.5}$ and BC emissions from agricultural waste (rice straw, corn stover, and sugar cane) in West Java Province using bottom up-tier 3. Furthermore, the purpose of this study is to determine the spatial distribution using Geographic Information System and formulate the mitigation scenarios for $\text{PM}_{2.5}$ and BC from agricultural waste burning activities in West Java Province

Combustion experiments are accomplished in the field and with the Open Burning Test Facility (OBTF). The sampling of $\text{PM}_{2.5}$ from combustion fumes was using a MiniVol Sampler, then carried out to laboratory analysis to determine the concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and BC contained in $\text{PM}_{2.5}$ and the characteristics of burned agricultural waste which included water content, ash content, fix carbon, and carbon content. $\text{PM}_{2.5}$ concentration analysis was carried out by the gravimetric method while the BC concentration was analyzed using the light reflectance method using a smoke stain reflectometer. Determination of characteristics of agricultural waste is carried out by proximate and ultimate analysis. During the sampling, meteorological conditions (temperature, wind direction, and speed, pressure, and humidity) and combustion characteristics (efficiency factor and combustion efficiency) were also measured

Calculation of emission loads $\text{PM}_{2.5}$ and BC refers to the Atmospheric Brown Cloud-Emission Inventory Manual (ABC-EIM), using emission factors and specific activity data for the combustion in West Java. These two values were

obtained from the measurement and calculation during the first phase of the research phase until the third stage in 2015 – 2017. The $PM_{2.5}$ emission factors used for this study were respectively 0.975 mg/kg for the burning of rice straw, 1,675 mg/kg for the burning of corn stover, and 0,121 mg/kg for the burning of sugarcane. While the BC emissions factors were respectively 0.139 mg/kg for rice straw, 0.162 g/kg for corn stover, and 0.062 g/kg for sugarcane. Specific activity data used are plant production, residual/plant yield ratio, residue/plant (dry weight), combustion fraction, and combustion efficiency. The result of the calculation of emission load for the total value of $PM_{2.5}$ are 2.822,2 ton/year for rice straw, 709,6 ton/year for corn stover, 4.5 ton/year for sugarcane. While total emissions for BC are 497.9 ton/year for rice straw, 42.4 ton/year for corn stover, 2.2 ton/year for sugarcane. From the $PM_{2.5}$ total emissions in West Java, the biggest contributor is from the rice straw burning with 79,7% percentage.

The spatial distribution of the grid results with the Geographic Information System shows the spread of the dominant $PM_{2.5}$ emissions from burning rice straw to the north of West Java Province, which is around Indramayu, Subang, and Karawang Regencies while the BC emissions dominantly originate from the burning of sugar cane distributed to the northeast of the Province West Java, which is around Cirebon Regency, Majalengka, and Kuningan. The uncertainty analysis with the Monte Carlo method is still within the 40 – 60% range for the $PM_{2.5}$ emission factor and the 70% – 85% range of non-disabling factors for the BC emission factor and 10% – 80% for the activity data uncertainty. When compared with the tier 1 measurements (-76% + 131%) by Permadi and Kim Oanh (2013) the results of the calculations with tier 3 are in the lower uncertainty level. This means that the results of the emissions inventory with tier 3 provide a lower uncertainty result.

Emission mitigation scenarios that can be applied to reduce emissions of $PM_{2.5}$ and BC from burning agricultural waste in West Java, including the development of appropriate technology for the manufacture of briquettes from agricultural waste which will reduce burnt waste by 5%. This first option can reduce $PM_{2.5}$ emissions from burning rice straw by 18%, for corn stover by 27%, and from sugar cane by 11,9%. The second option is to use agricultural waste as a animal feed supplement to achieve the emission reduction target of 30% in 2030. Both of these options can be developed in the community as a solution to overcome the increase in combustion activities of agricultural waste in rural communities

Keywords: black carbon, inventory of emissions, agricultural waste, West Java, $PM_{2.5}$, open burning, combustion chamber.