



JRT PPI 8 (1) (2017)

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Low cost particulate sensor sebagai unit kontrol untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses wet scrubber

Low cost particulate sensor as unit control for process efficiency optimization in wet scrubber

Januar Arif Fatkhurrahman*, Ikha Rasti Julia Sari, Nur Zen

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 25 Agustus 2016

Direvisi 2 Desember 2016

Disetujui 7 Februari 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

Keywords :

Wet Scrubber

Particulate pollution

Microcontroller

Water process efficiency

Water adsorption

ABSTRAK

Teknologi *wet scrubber* sebagai pengendali cemaran udara terutama partikulat telah banyak digunakan pada berbagai peralatan proses di berbagai industri. Umumnya, kondisi *wet scrubber* pada industri kecil dan menengah tidak dilengkapi dengan unit kontrol air proses, sehingga terjadi in-efisiensi penggunaan air proses yang berakibat pada cemaran air yang dibuang ke lingkungan. Dirancang sebuah kegiatan penelitian dengan mengacu pada modifikasi mekanisme penyerapan cemaran partikulat emisi, review data analisis cemaran partikulat di industri pada pengendalian partikulat tanpa kontrol penggunaan air proses. Penerapan kontrol proses berbasis mikrokontroler pada operasional penggunaan air proses digunakan untuk mengetahui kinerja penghematan air proses sebagai air penjerap. Beban partikulat divariasi sebagai tiga tingkatan beban partikulat dan digunakan sebagai penentu efisiensi pengikatan terhadap beban partikulat. Hasil ujicoba peralatan dengan perangkat kontrol yang dilakukan dalam dua variasi formulasi proses yaitu 100-300-600 dan 200-400-600 tidak menunjukkan perbedaan nyata, namun efisiensi antar kedua formulasi tersebut mampu meningkatkan efisiensi penghematan air proses rata - rata sebesar 59,8%, dengan kata lain mampu mengurangi cemaran ke badan lingkungan sebesar 32,3 Liter/jam. Simulasi pembebanan partikulat dilakukan dengan *wet scrubber* dengan sampel partikel berdiameter <2,5 μm dan laju partikulat 1 m/detik.

ABSTRACT

Wet scrubber technology has being used as particulate handling on air pollution in general industrial process. In small medium scale industry, wet scrubber is commonly inequipped with air adsorption controlling process, in hand it delivered inefficiency on water utilization, that led to water contamination spreading to environment. For those reasons, research activity had been conducted based on emission mechanism modification on particulate emission with data analysis review in non-controlled water utilization in particulate handling. Microcontroller based wet scrubber application in controlling water utilization of particulate handling was used to measure water saving and increase water efficiency. It was measured by how many water could be saved in three level particulate concentration variation. The result from this research, both 100-300-600 and 200-400-600 formulations delivered insignificant difference in water efficiency, but those both formulations increased water efficiency until 59,8%. On the other hand, it greatly saved 32,3 litres/hour in water that usually was discarded into an environment. This entire particulate simulation process on wet scrubber was held by < 2,5 μm particulate diameter and 1 m/s particulate flowrate.

© 2017 BBT PPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : januarfa@kemenperin.go.id (J A. Fatkhurrahman)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia beberapa tahun terakhir ini menunjukkan peningkatan yang cukup pesat. Berdasarkan data BPS selama kurun waktu 2010 – 2015, perkembangan industri di Indonesia mengalami kenaikan rata – rata sebesar 4,2 % (BPS, 2016). Seiring perkembangan industri, unit – unit proses dengan teknologi yang makin kompleks ikut berkembang, baik unit produksi maupun unit pengendali cemaran terhadap lingkungan. *Wet scrubber* merupakan salah satu teknologi proses yang banyak digunakan sebagai unit pengendali cemaran udara, terutama partikulat yang diemisikan oleh unit proses boiler, *heater*, maupun tungku pemanas (Lee dkk., 2013). Cemaran dari partikulat merupakan salah satu faktor emisi yang memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Gozzi dkk., 2015). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyebutkan, paparan partikulat baik di dalam maupun luar ruangan menyebabkan 2 juta kematian tiap tahun yang diakibatkan oleh infeksi saluran pernafasan atas (ISPA) maupun kanker paru – paru (WHO, 2011). Penggunaan teknologi *wet scrubber* pada pengendalian cemaran partikulat pada unit proses di industri kecil menengah umumnya melupakan kontrol proses penggunaan air sebagai air penjerap yang adaptif terhadap beban partikulat yang diemisikan. Data analisis partikulat sebuah industri tekstil kecil menengah selama 2 tahun terakhir menunjukkan fluktuasi cemaran partikulat pada unit proses yang dikendalikan dengan *wet scrubber* tanpa adanya kontrol proses tersebut.

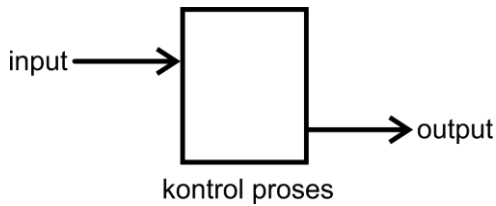
Tabel 1. Data Analisis Partikulat pada Sampel IKM Tekstil

No	Periode	Emisi Partikulat (mg/Nm ³)
1	Semester 1 - 2014	52,9
2	Semester 2 - 2014	82,21
3	Semester 1 - 2015	25,26
4	Semester 2 - 2015	106,35

Sumber : Data Analisis Laboratorium Pengujian BBTPI Semarang; 2014 - 2015

Rentang data partikulat selama empat kali periode pengukuran menunjukkan perbedaan nilai maksimum sebesar empat kali nilai minimum pengukuran. Sementara penggunaan air proses dalam *wet scrubber* pada keseluruhan periode relatif tetap sesuai dengan spesifikasi unit *scrubber* yang beroperasi, hal ini menyebabkan inefisiensi penggunaan air penjerap dalam *wet scrubber* pada saat beban cemaran partikulat relatif minimum, yang mampu meningkatkan buangan sisa air proses ke badan lingkungan. Sisa air proses yang dibuang ke badan lingkungan tersebut kaya dengan *slurry* pembakaran batubara yang mempunyai komposisi senyawa logam dan zat organik yang berbahaya bagi kesehatan (WV-DEP, 2016).

Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air proses sebagai air penjerap, air proses yang digunakan perlu dikontrol sesuai dengan beban cemaran partikulat yang diemisikan sebuah unit proses. (Fatkhurrahman dkk., 2016) menyebutkan peluang dan verifikasi penggunaan *low cost particulate sensor* sebagai unit pembaca partikulat berbasis mikrokontroler dengan korelasi linier mencapai 0,88 yang dapat digunakan sebagai langkah modifikasi kontrol proses pada *wet scrubber*. Pada penelitian tersebut, *low cost particulate sensor* hanya digunakan sebagai unit pembaca, bukan sebagai unit kontrol. Penggunaan *low cost particulate sensor* tersebut, dengan harga relatif murah, namun secara prinsip kerja identik dengan kontrol proses pada teknologi *wet scrubber* di industri skala besar (Averdieck, 2011) sehingga *aplicable* digunakan pada industri skala kecil dan menengah. Dengan demikian efisiensi pengikatan partikulat terhadap laju air penjerap dapat dihitung sebagai penghematan air proses dan pengurangan beban cemaran air ke lingkungan. *Low cost particulate sensor* membaca beban partikulat tiap periode waktu tertentu yang dapat digunakan untuk mengontrol laju air penjerap dengan kendali mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Dapat digambarkan, pada kontrol proses berbasis mikrokontroler terdapat input, kontrol proses, dan output (Perangin-Angin, 2010).

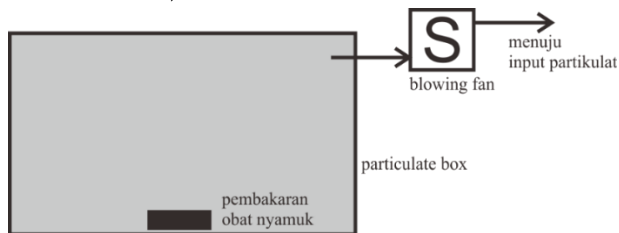


Gambar 1. Desain Mikrokontroler

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa partikel dari hasil pembakaran asap obat nyamuk dengan dimensi partikulat $<2,5 \mu\text{m}$ (Liu dkk., 2003) yang ditampung dan disalurkan melalui saluran partikulat. Dimensi partikulat $<2,5 \mu\text{m}$ digunakan untuk mempermudah keseragaman ukuran partikulat, jika dibandingkan dengan ukuran partikulat yang lebih besar. Pembakaran asap obat nyamuk ditempatkan dalam sebuah *particulate box* sehingga memberikan beban partikulat yang konstan selama uji coba.



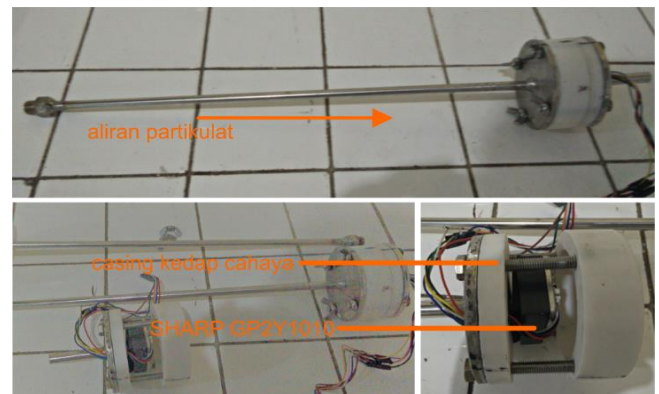
Gambar 2. Perangkat Partikulat Generator

Peralatan utama yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini meliputi :

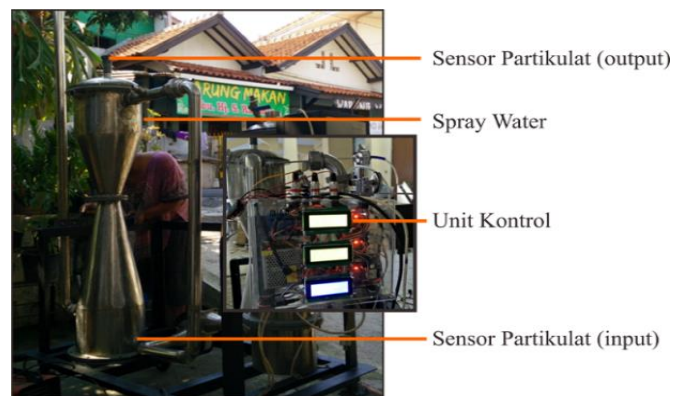
1. Sensor partikulat (Gambar 3); SHARP GP2Y1010. Sensor ini mampu membaca konsentrasi partikulat dengan resolusi < 1 detik. Konsentrasi partikulat tiap waktu merupakan perbedaan tegangan keluar yang dibaca sebagai sinyal analog 0 volt – 5 volt.
2. Unit simulasi *wet scrubber* (Gambar 4), peralatan pada unit ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi operasi pada teknologi *wet scrubber*, dengan partikulat uji berdimensi $< 2,5 \mu\text{m}$. Pada unit simulasi *wet scrubber* dipasang dua unit sensor partikulat, masing – masing pada bagian partikulat input dan partikulat output. Sensor partikulat pada partikulat input digunakan sebagai pembaca konsentrasi atau

beban partikulat yang masuk ke dalam *wet scrubber*, sekaligus mengontrol laju air penjerap sesuai dengan konsentrasi partikulat yang masuk. Sensor partikulat pada partikulat output digunakan sebagai kontrol untuk mengukur penurunan konsentrasi partikulat setelah melalui pengendalian berbasis *wet scrubber*.

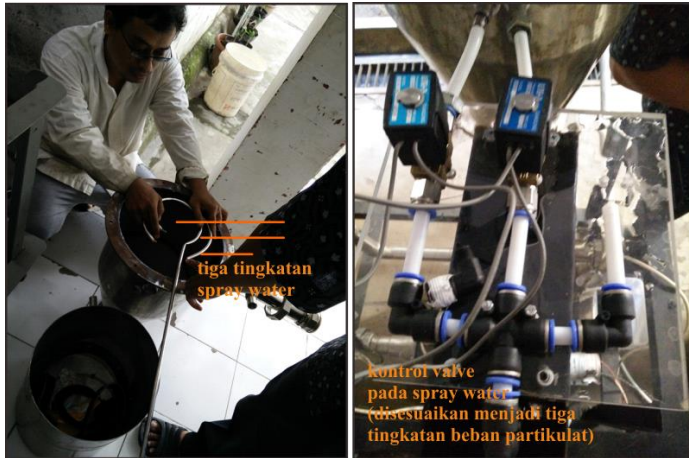
3. Unit air penjerap (Gambar 5), peralatan pada unit ini meliputi pompa air, spray nozzle dan valve kontrol. Terdapat tiga tingkatan valve kontrol menyesuaikan beban partikulat yang dihasilkan untuk mengontrol bukaan spray nozzle. Tiga tingkatan valve kontrol tersebut menyesuaikan beban partikulat rendah, sedang, dan tinggi dengan range partikulat tersebut menyesuaikan spesifikasi teknis sensor partikulat yang dipakai. Dalam hal ini, SHARP GP2Y1010 yang digunakan sebagai sensor partikulat mempunyai rentang pembacaan dari 0 – 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sehingga variasi pembobotan partikulat rendah, sedang, dan tinggi diatur sebagai berikut;



Gambar 3. Casing dan set sensor partikulat (Fatkhurrahman dkk., 2016)



Gambar 4. Unit simulasi wet scrubber

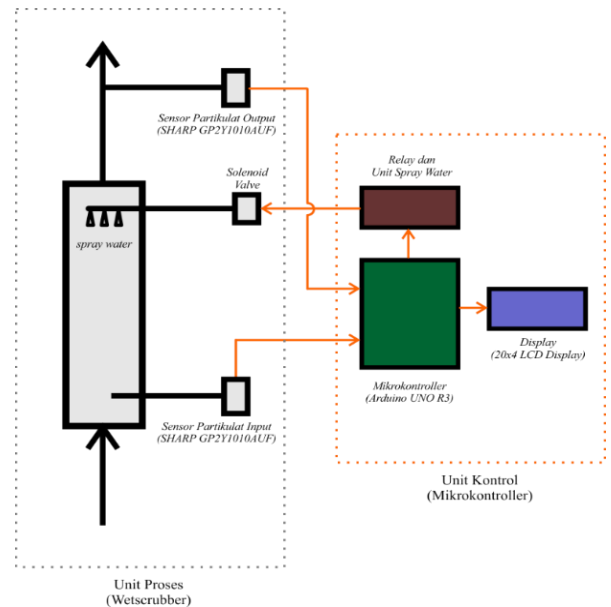


Gambar 5. Unit alat penjerap

- a. Variasi 1 : Formulasi 100-300-600,
 Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara $101 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara $301 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik.
- b. Variasi 2 : Formulasi 200-400-600
 Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara $201 - 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara $401 - 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik.

2.2. Prosedur Penelitian

Uji coba dimulai dengan membakar obat nyamuk sehingga dihasilkan partikulat dengan dimensi $< 2,5 \mu\text{m}$, rata – rata pembakaran obat nyamuk akan menghasilkan durasi uji coba selama 5 – 7 jam. Partikulat yang dihasilkan dialirkan melalui saluran partikulat menuju input partikulat di *wet scrubber* dengan bantuan *blowing fan* sehingga kecepatan alir partikulat stabil pada 1 m/detik. Kinerja mikrokontroler menentukan banyaknya debit air penjerap yang digunakan sesuai dengan konsentrasi partikulat yang dihasilkan pada pembakaran obat nyamuk. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka Proses Kerja Peralatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan air pada peralatan simulasi *wet scrubber* jika tidak dilaksanakan kontrol pada laju air penjerap dihitung sebagai kondisi keseluruhan kontrol valve terbuka mengeluarkan debit air sebesar 54 Liter/jam (data penggunaan air jika tidak dilaksanakan kontrol dapat dilihat pada tabel. 2, pada baris dengan *shading orange*). Analisis data penggunaan air proses yang digunakan sebagai air penjerap didasarkan pada debit air tiap tingkatan *nozle spray* yang berlangsung selama uji coba.

Banyaknya data penggunaan tingkatan *nozle spray* (tiap tingkatan terlihat pada baris 0 - 3 di tabel. 2). Data

direkam dalam mikrokontroler, kolom sistem kontrol menunjukkan jumlah kejadian valve kontrol di tiap tingkatan terbuka (ON) yang menunjukkan valve mengalirkan air penjerap, sementara itu, kolom sistem

konvensional menunjukkan total volume air yang dialirkan pada tiap tingkatan selama uji coba dan selanjutnya dianalisis sebagai contoh terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh Analisis Penggunaan Air

Tingkatan Nozzle	Waktu Uji Coba (detik)	Sistem Konvensional Kebutuhan Air (mL)	Sistem Kontrol (Scrubber berbasis Mikrokontroler) Kebutuhan Air (mL)
0			0
1			13.584
2			20.580
3			63.889
	17.795	266.925	98053
	4,94 jam	266,925 Liter	98,053 Liter

Kebutuhan air untuk tiap tingkatan *nozzle spray* dihitung berdasarkan periode *valve nozzle spray* terbuka. Sebagai contoh, jika pada tingkat 1, *nozzle spray* terbuka selama 4528 detik, dengan laju air 1mL/detik, maka pada tingkat 1 dibutuhkan air sebanyak 13584 mL atau 13,584 Liter. Kenaikan efisiensi penggunaan air akan mengurangi kinerja pompa yang digunakan untuk menyalurkan air penjerap dan pada akhirnya akan mengurangi penggunaan daya listrik, sebanding dengan peningkatan efisiensi penggunaan air. Analisis perhitungan kebutuhan air penjerap jika dilaksanakan kontrol proses dibagi menjadi dua formulasi, yaitu formulasi 100-300-600 dan 200-400-600, variasi formulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan efisiensi penggunaan air proses jika batas / tingkatan pengikatan partikulat divariasi, sebagai berikut:

Formulasi 100-300-600

Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan sebagai air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara 101 – 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input diantara 301 – 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik. Data penggunaan air proses pada formulasi ini terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penggunaan Air pada Formulasi 100-300-600

No	Kebutuhan Air (Liter/jam)	Periode Ujicoba (jam)	Total Kebutuhan Air (Liter)	Penghematan Air (Liter/jam)	Total Penghematan Air (Liter)	Efisiensi
1	23,95	2,94	70,4	30,05	88,3	55,6
2	20,26	3,37	68,3	33,74	113,7	62,5
3	22,59	2,38	53,8	31,41	74,8	58,2
4	21,98	5,25	115,4	32,02	168,1	59,3
5	19,84	4,94	98,0	34,16	168,8	63,3
6	24,07	3,63	87,4	29,93	108,6	55,4
7	18,74	5,84	109,4	35,26	205,9	65,3

Formulasi 200-400-600

Pada formulasi ini, saat partikulat di bawah angka 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, keseluruhan valve kontrol akan mati dan air tidak digunakan untuk air penjerap, pada saat konsentrasi input partikulat diantara 201 – 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 1 (satu) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 3 mL/detik, selanjutnya pada saat konsentrasi partikulat input

diantara 401 – 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hanya 2 (dua) valve kontrol yang akan mengalirkan air dengan total debit 8 mL/detik, dan pada saat konsentrasi partikulat input lebih dari 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ keseluruhan 3 (tiga) valve kontrol akan mengalirkan air dengan debit maksimal sebesar 15 mL/detik. Data penggunaan air proses pada formulasi ini terlihat pada Tabel 4.

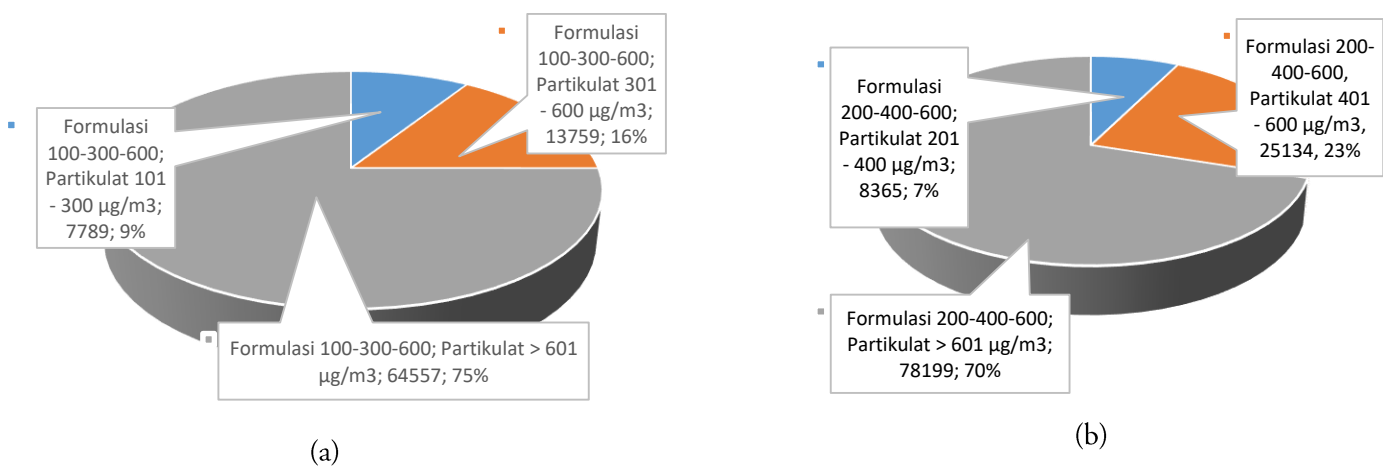
Tabel 4. Penggunaan Air pada Formulasi 200-400-600

No	Kebutuhan Air (Liter/jam)	Periode Ujicoba (jam)	Total Kebutuhan Air (Liter)	Penghematan Air (Liter/jam)	Total Penghematan Air (Liter)	Efisiensi
1	20,33	4,96	100,8	33,67	167,0	62,4
2	20,29	5,89	119,5	33,71	198,6	62,4
3	24,19	2,59	62,7	29,81	77,2	55,2
4	20,64	6,91	142,6	33,36	230,5	61,8
5	23,39	7,21	168,6	30,61	220,7	56,7
6	23,76	5,12	121,7	30,24	154,8	56,0
7	19,96	4,67	93,2	34,04	159,0	63,0

Penggunaan formulasi ini secara rata – rata mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 59,6% jika dibandingkan operasional peralatan *wet scrubber* yang tidak dilakukan kontrol air penjerap atau sebesar 32,2 Liter/jam.

Jika dilihat kedua formulasi tersebut tidak memberikan hasil efisiensi penggunaan air yang berbeda nyata, hal ini disebabkan batasan spesifikasi teknis sensor partikulat yang digunakan cukup sempit di kisaran 0 – 700

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan sinyal yang dikeluarkan dari 0 – 5 volt, sehingga perbedaan 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ akan terbaca sebagai perbedaan tipis beda tegangan sebesar 0,7 volt yang dibaca oleh mikrokontroler (D’Ausilio, 2012). Selain itu, kedua formulasi proses yang tidak memberikan perbedaan nyata pada efisiensi penggunaan air proses disebabkan rata – rata konsentrasi partikulat berada pada rentang > 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hal ini seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sebaran Konsentrasi Partikulat pada Hasil Ujicoba; (a) formulasi 100-300-600, (b) formulasi 200-400-600

Konsentrasi partikulat rata – rata selama uji coba di atas 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sehingga variasi formula di tingkatan kedua

(100 – 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) hanya mencakup sekitar 16 % - 23 % data uji coba, sehingga kedua formulasi tersebut tidak

mampu memberikan beda peningkatan efisiensi proses secara signifikan.

Rata – rata peningkatan efisiensi penggunaan air dari kedua formulasi proses tersebut sebesar 59,8%, yang berarti sebanyak 59,8% atau 32,3 Liter/jam air yang pada proses pengendalian cemaran udara dengan *wet scrubber* tanpa proses kontrol beban partikulat terhadap laju air penjerap dibuang ke badan lingkungan dapat dikurangi. Namun, jika melihat spesifikasi teknis peralatan yang digunakan merupakan skala prototype, perlu dibuat sebuah formulasi teknis dari acuan formulasi pembagian beban partikulat yang telah dilaksanakan jika peralatan ini akan di *scale up* ke skala pilot plant. Variasi dimensi partikulat yang lebih besar diperlukan untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi *wet scrubber* terhadap pengikatan partikulat dan kinerja sensor partikulat. Penggunaan sensor partikulat dengan rentang kerja yang lebih lebar juga diperlukan untuk mengakomodasi beban partikulat yang lebih besar.

4. KESIMPULAN

Efisiensi penggunaan air pada simulasi perangkat *wet scrubber* berbasis mikrokontroler dengan bantuan *low cost particulate sensor* dapat ditingkatkan sebesar 59,8% yaitu sebanyak 32,3 Liter/jam, dari 54 Liter/jam kebutuhan air proses jika tidak dikontrol menjadi rata – rata sebesar 21,7 Liter/jam air kebutuhan air proses. Sementara itu, sebaran rata – rata konsentrasi partikulat yang berada di atas spesifikasi sensor partikulat yang digunakan (lebih dari 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), menyebabkan tidak ada perbedaan nyata antara kedua variasi formulasi dengan kisaran formulasi 100 – 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang digunakan dalam ujicoba, sehingga penggunaan sensor partikulat dengan rentang pembacaan partikulat yang lebih lebar dapat digunakan sebagai langkah aplikatif terhadap peralatan untuk mengukur sejauh mana efisiensi penggunaan air proses dapat dimaksimalkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana melalui anggaran DIPA BBTPPI.

DAFTAR PUSTAKA

- Averdieck, William, 2011, Selection of particulate monitor, Technical Paper PCME. Cambridge.
- BPS, 2016, Pertumbuhan Indeks Produksi Bulanan Industri Besar dan Sedang, 2010 - 2015. <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1062>. Diakses tanggal 28 Maret 2016.
- D'Ausilio, 2012., Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment, Behav Res Methods 44(2): 305 – 313.
- Fatkhurrahman JA., Sari IRJ., Zen N, 2016, Verifikasi low cost particulate sensor sebagai sensor partikulat pada modifikasi teknologi *wet scrubber*. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri 7(1): 31 – 38.
- Lee BK., Mohan BR., Byeon SH., Lim KS., Hong EP, 2013, Evaluating the performance of a turbulent *wet scrubber* for scrubbing particulate matter, J Air Waste Manag Assoc. 63(5):499-506.
- Liu Weili, Zhang Junfeng, Hashim, Jamal H. Jalaludin, Juliana, Hashim, Zailina, Goldstein, Bernard D., 2003, Mosquito coil emissions and health implications, Environmental Health Perspectives 111(12):1454-1460.
- Gozzi, Fernando, Ventura, Giancarlo Della. Maarcelli, Augusto, 2015, Mobile monitoring of particulate matter: State of art and perspectives, Atmospheric Pollution Research 7(2) : 1-7
- Perangin Angin B., 2010, Rancangan alat pengukur kecepatan kendaraan di jalan tol berbasis mikrokontroler AT89S51. USU. Retrieved from <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/1863>
- West Virginia Department of Environmental Protection (WV-DEP)., 2016, An evaluation of the underground injection of coal slurry in West Virginia: Phase I, Environmental Investigation.
- World Health Organization (WHO)., 2011, http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/en/index.html. Diakses tanggal 28 Maret 2016.

