

## PENGARUH UKURAN PARTIKULAT HASIL GASIFIKASI BATUBARA TERHADAP EFISIENSI WET SCRUBBER

### THE EFFECT OF PARTICULATE SIZES AS COAL GASIFICATION PRODUCTS TOWARD WET SCRUBBER EFFICIENCY

Derina Paramitasari, Erbert Ferdy Destian, Mochammad Ismail  
Laboratorium Teknologi Proses, Kedeputan TIEM, BPPT  
e-mail : derina.paramitasari@bppt.go.id, ferdy.destian@bppt.go.id,  
mochammad.ismail@bppt.go.id

#### Abstrak

*Syngas* dari gasifikasi batubara mengandung komponen pengotor seperti tar, char, H<sub>2</sub>O, ash, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan COS. Zat-zat pengotor tersebut dibagi menjadi dua fase, yaitu fase gas (uap) dan fase padatan (partikulat). Selanjutnya, *syngas* dibersihkan dari pengotornya menggunakan cyclone, wet scrubber dan wet ESP. Dalam penelitian ini, jenis wet scrubber yang digunakan adalah venturi scrubber. Efisiensi dari venturi scrubber ini ditentukan oleh ukuran partikulat pengotor dalam *syngas*. *Syngas* dari cyclone dianalisis ukuran partikulatnya menggunakan Particle Size Analyzer dan didapatkan grup ukuran partikulat dalam mikrometer (%vol). Lalu, data tersebut dianalisis dengan debit (flow rate) dan fraksi massa umpan venturi scrubber, maka didapatkan hasil efisiensi venturi scrubber sebesar 97,48%. Efisiensi venturi scrubber dapat mencapai 99% untuk memisahkan partikulat padatan berukuran minimal 1 mikron.

Kata kunci : venturi scrubber; efisiensi partikulat; pembersihan gas; gasifikasi batubara; wet scrubber

#### Abstract

*Syngas from coal gasification consists of various impurities such as tar, char, H<sub>2</sub>O, ash, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S and COS. Those impurities can be classified into two-phase groups, which are gas phase (includes vapor) and solid phase (particulates). After gasification, syngas will be purified or cleaned from its impurities with some types of equipment such as cyclone, wet scrubber and wet ESP. The wet scrubber type that is used in this research is venturi scrubber. The scrubber efficiency is determined by the amount and sizes of particulates in syngas. Particulate sizes in syngas from cyclone are analyzed using Particle Size Analyzer to obtain data of particulate sizes in micrometer (%vol). Then, those data are calculated together with the flow rate and mass fraction of scrubber feed, to get venturi scrubber efficiency 97,48%. Venturi scrubber efficiency can reach up to 99% to remove particulates with minimum 1 micron.*

Key words : venturi scrubber; particulate efficiency; gas cleaning; coal gasification; wet scrubber

Diterima (received) : 08 Juli 2019 , Direvisi (revised) : 08 Oktober 2019 ,  
Disetujui (accepted) : 22 Oktober 2019

#### PENDAHULUAN

Salah satu metode untuk meningkatkan nilai tambah batubara dalam negeri adalah mengkonversi batubara menjadi gas atau

gasifikasi batubara. Proses konversi ini dapat menghasilkan Dimethyl Ether (DME) dan Synthetic Natural Gas (SNG). SNG atau sering juga disebut *syngas* ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti *Liquified*

*Petroleum Gas* (LPG), bahan bakar *gas engine*, bahan baku dalam industri pupuk dan bahan baku industri kimia lainnya.

Pemerintah melalui Bappenas sedang mencanangkan program hilirisasi batubara, yaitu gasifikasi, pencairan dan *upgrading* batubara, sebagai upaya peningkatan nilai tambah batubara untuk bahan baku dan bahan substitusi di industri petrokimia seperti industri pupuk, industri metanol dan amonia<sup>1)</sup>. Dengan adanya program hilirisasi batubara, dimana salah satunya adalah proses gasifikasi batubara, maka nilai tambah batubara akan meningkat dari hanya sebagai bahan bakar menjadi bahan bakar, bahan baku substitusi LPG, dan bahan baku untuk industri petrokimia.

Proses gasifikasi batubara merupakan proses reaksi kompleks yang mengubah batubara menjadi produk gas (*synthetic gas/syngas*) dengan bantuan udara dan/atau *steam*. Secara rinci, proses kimia yang terjadi dalam gasifikasi merupakan oksidasi parsial, dimana proses tersebut mendominasi keseluruhan proses gasifikasi, yang bereaksi dengan sejumlah tertentu oksigen dan *steam* untuk memproduksi gas sintetis dengan kadar yang terbesar adalah hidrogen dan karbon monoksida<sup>2)</sup>.

Proses gasifikasi dapat dilakukan pada tekanan atmosferik maupun tekanan tinggi yang disesuaikan dengan tujuan prosesnya, dimana proses gasifikasi pada tekanan tinggi lebih cocok dilakukan jika produk *syngas* yang dihasilkan akan digunakan dalam pembangkit listrik seperti IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*). Jika produk *syngas* yang dihasilkan akan digunakan untuk pembangkit sederhana (diumpungkan ke kompressor bahan bakar), maka produk *syngas* tersebut dapat dihasilkan dari proses gasifikasi batubara pada tekanan atmosferik. *Syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi batubara masih mengandung banyak pengotor gas dan padatan (partikulat), dimana pengotor ini harus dihilangkan atau diminimalisasi (*gas cleaning*) agar produk *syngas* akhir bersih dari pengotor dan dapat diolah lebih lanjut dalam proses berikutnya.

Makalah ini lebih berfokus pada simulasi perhitungan efisiensi *venturi scrubber* berdasarkan hasil analisis ukuran partikulat yang merupakan hasil proses pemisahan *syngas* dan partikulat di *cyclone*. *Syngas* yang dihasilkan berasal dari proses *fixed bed coal gasification*.

Analisis ukuran partikulat atau sering disebut *particle size distribution* (PSD) dilakukan dengan *particle size analyzer* bekerja sama dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan

Batubara (tekMIRA). Ukuran partikel dapat memberikan data karakteristik material partikulat dan dapat menjadi indikator penting suatu kualitas dan performa dari material partikulat, sebagai contoh, suatu ukuran dan bentuk partikel bubuk mempengaruhi aliran dan kepadatan (*compaction*) partikel dalam fluida<sup>3)</sup>.

## TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

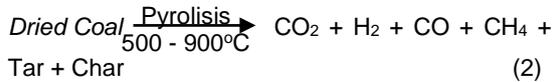
Reaksi kompleks dalam proses gasifikasi batubara (*coal gasifier*) ini terjadi secara simultan, dimana tahapan prosesnya dapat dibagi menjadi proses pengeringan, dekomposisi batubara, pembakaran, dan gasifikasi. Proses pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air yang terdapat pada lapisan maupun di dalam batubara dan terjadi pada suhu sekitar 100 – 300°C. Proses yang kedua adalah proses dekomposisi batubara, yaitu proses pemanasan batubara tanpa udara atau Oksigen (O<sub>2</sub>).

Secara lebih detil, proses ini memecah batubara menjadi zat padat, cair dan gas, yang terjadi pada suhu minimal 500°C dan maksimum *yield* untuk proses dekomposisi ini adalah minimal 900°C). Zat – zat hasil dekomposisi batubara dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu fraksi gas hasil dekomposisi batubara yang dapat terkondensasi pada suhu dan tekanan kamar, disebut tar, sedangkan fraksi gas hasil dekomposisi batubara yang tidak dapat terkondensasi pada suhu dan tekanan kamar, disebut gas sintetis (*synthetic gas/syngas*). *Syngas* ini mengandung unsur utama gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Sedangkan, zat padat yang terbentuk dari sisa proses dekomposisi, biasanya unsur Carbon yang tersisa dari proses dekomposisi, disebut *char*.

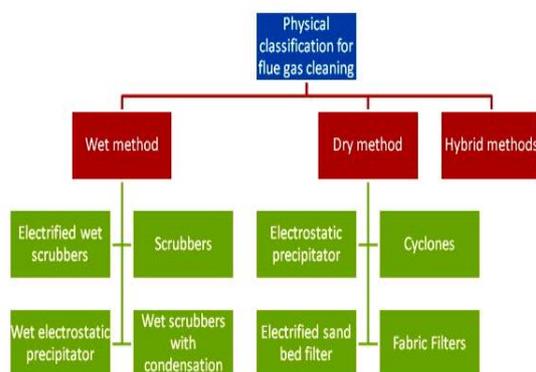
Selanjutnya, proses ketiga adalah proses pembakaran (*combustion*) yang terjadi pada kisaran suhu 1000 – 1300°C. Dalam proses ini, *char* teroksidasi oleh O<sub>2</sub> membentuk gas CO, CO<sub>2</sub> dan *ash*.

Terakhir, proses gasifikasi merupakan proses konversi *char* dengan bantuan gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan H<sub>2</sub> untuk membentuk *syngas*. Proses ini terjadi pada kisaran suhu 900 – 1200°C. Perbedaan antara proses *combustion* (pembakaran) dan gasifikasi adalah jumlah oksigen atau udara yang dibutuhkan dalam proses, dimana proses pembakaran terjadi jika ada oksigen yang cukup untuk mengoksidasi bahan bakar, sedangkan proses gasifikasi dapat terjadi jika oksigen atau *steam* tidak cukup tersedia untuk proses oksidasi sempurna<sup>4)</sup>.

Persamaan- persamaan kimia di bawah ini merupakan proses – proses reaksi kimia yang terjadi selama proses gasifikasi batubara secara keseluruhan dalam *gasifier*.



Produk *syngas* yang dihasilkan oleh *gasifier* masih mengandung banyak pengotor fase gas maupun pengotor fase padat. Pengotor fase gas seperti uap air (H<sub>2</sub>O), H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, COS, dan pengotor fase padat seperti tar, abu (*ash*) dan *char*. Berbagai proses purifikasi *syngas* dari pengotornya, telah banyak diaplikasikan di dalam industri gasifikasi seperti proses pemisahan dengan *cyclone*, proses *scrubbing*, proses *electrostatic precipitation*, dan proses adsorpsi. *Syngas* yang telah bersih dapat digunakan sebagai bahan bakar *gas engine* untuk pembangkit listrik. Secara ringkas, proses pembersihan gas (*gas cleaning*) dapat diklasifikasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi Proses *Gas Cleaning*<sup>5)</sup>

Metode *wet cleaning* berarti proses pembersihan gas menggunakan media cairan, pada umumnya adalah air, seperti proses *scrubbing* dan *wet electrostatic*

*precipitation*. Sebaliknya, metode *dry cleaning* tidak membutuhkan media cairan, seperti proses pembersihan gas pada *cyclone* dan *filter*.

Dalam proses pembersihan *syngas* hasil proses gasifikasi, *syngas* dialirkan menuju *cyclone* sebagai tahap pertama proses *gas cleaning*. *Cyclone* ini berfungsi untuk meminimalisasi jumlah pengotor padatan yang ada dalam *syngas* di tahap pertama, dimana pengotor padatan yang berukuran minimal 5-6 mikron dapat dipisahkan dari *syngas*. Prinsip kerja dari *cyclone* adalah pemisahan padatan dan gas berdasarkan gaya sentrifugal, yang terdiri dari silinder di bagian atas dan kerucut di bagian bawah<sup>6)</sup>.

Selanjutnya, produk *syngas* dari keluaran atas *cyclone*, dibersihkan lebih lanjut menggunakan *wet scrubber*. Adapun beberapa tipe *wet scrubber* yang dapat digunakan untuk proses pembersihan gas adalah *spray tower*, *cyclonic spray tower*, *dynamic scrubber*, *tray towers*, *venturi scrubber*, *orifice scrubber*, dan *packed tower scrubber*.

Padatan atau partikulat yang terkandung dalam *syngas* dari produk atas *cyclone* terdiri dari berbagai *range* ukuran diameter. Adapun persamaan-persamaan yang dapat dipakai untuk memudahkan perhitungan volume tiap *range* diameter padatan adalah sebagai berikut :

$$V_{sk} = \sum_{k=0}^n \frac{\%V_k}{V_t} \times Q \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$M_{sk} = \sum_{k=0}^n V_{sk} \times \rho_s \quad \dots\dots\dots(6)$$

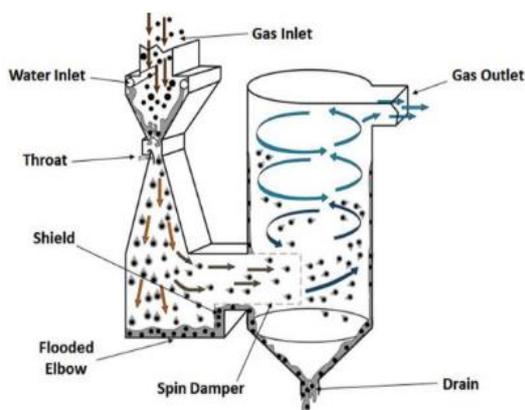
dengan  $V_{sk}$  adalah volume partikulat padatan tiap *range* diameter partikulat dalam m<sup>3</sup>/jam,  $\%V_k$  adalah % Volume partikulat padatan tiap *range* diameter partikulat,  $V_t$  adalah % volume total partikulat padatan untuk total *range* diameter partikulat, dan  $Q$  adalah debit umpan partikulat padatan menuju *scrubber* yaitu 0,06 m<sup>3</sup>/jam. Lalu,  $M_{sk}$  adalah massa partikulat padatan tiap *range* diameter partikulat dalam kg/jam dan  $\rho_s$  adalah densitas partikulat padatan yaitu 446 kg/m<sup>3</sup>.

**PERALATAN**

Dalam penelitian ini, proses penghilangan partikulat dalam *syngas* menggunakan proses *wet scrubbing* dengan tipe *venturi scrubber*. Proses *scrubbing* ini merupakan proses pemisahan partikulat atau pengotor dalam bentuk gas, dengan suatu cairan. Secara detail, kinerja dan optimalisasi

*venturi scrubber* bergantung pada dispersi cairan, *pressure drop*, atomisasi, ukuran *droplet*, metode injeksi dan mekanisme pengambilan partikulat, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2 <sup>7)</sup>.

Efisiensi *venturi scrubber* untuk mengambil partikulat padatan dari umpan gas dapat lebih dari 90% untuk partikulat berukuran minimal 1 mikron dan  $\pm 50\%$  untuk partikulat diameter 0,5 – 1 mikron <sup>8)</sup>.



Gambar 2.  
*Venturi Scrubber* <sup>9)</sup>

Dengan demikian, *venturi scrubber* dapat memperpendek rantai proses pembersihan gas (*gas cleaning*) setelah proses gasifikasi. *Venturi scrubber* terdiri dari seksi konvergen, leher venturi (bagian paling sempit dari *venture tube*), dan *diffuser* <sup>10)</sup>.

Umpan gas yang berupa campuran *syngas* dan pengotor partikulat, dialirkan melalui leher (*throat*) venturi, dimana kecepatan umpan *syngas* akan mencapai maksimum. Selanjutnya, umpan memasuki area *diffuser* yang melebar sehingga kecepatan umpan akan menurun relatif drastis.

Media air ditambahkan ke dalam umpan gas di leher venturi atau sebelumnya. Secara detil, proses pencampuran intensif dan berkecepatan tinggi antara umpan gas dan air terjadi di leher venturi, yang mengakibatkan terbentuknya tetesan air yang sangat kecil (*fine*).

Tetesan-tetesan air tersebut akan mengikat atau menahan partikulat padatan, agar tidak terikut oleh aliran gas dan akan jatuh ke bawah karena gravitasi.

**BAHAN DAN DATA MENTAH**

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah partikulat padatan yang terikut dalam aliran *syngas* dari produk atas *cyclone*, yang akan menjadi umpan *wet venturi scrubber*.

Setelah ditampung, partikulat tersebut dianalisis dengan alat *Particle Size Analyzer*. Alat ini mengukur atau menganalisis karakteristik dari material partikulat yang ada dalam fluida dengan metode *laser diffraction*. Metode laser diffraction ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lain, seperti kebutuhan jumlah sampel yang sedikit atau rendah, waktu analisis yang singkat, hasil analisis presisi, kalibrasi mudah, *range* ukuran yang besar dengan klasifikasi sangat detil, dan memiliki fleksibilitas yang tinggi <sup>11)</sup>.

Fluida umpan *venturi scrubber* tersebut berasal dari produk atas *Cyclone* yang dianalisis pada tanggal 4 April 2017, dan diambil dari *Pilot Plant* Gasifikasi milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA) di Palimanan, Cirebon.

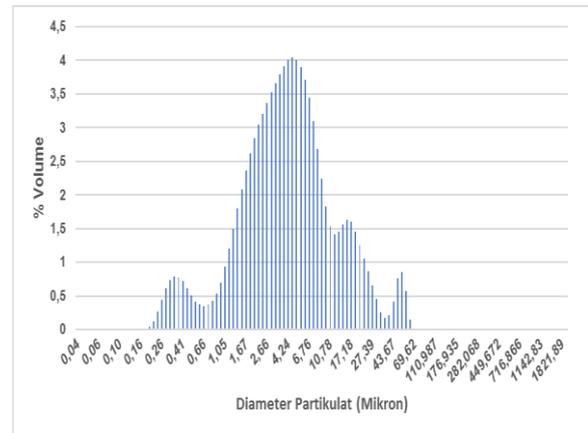
Tabel 1.  
Data Distribusi Diameter Partikulat dari Aliran *Syngas* dari Produk Atas *Cyclone*

Diameter Partikulat (Mikrometer)	Fraksi Volume (%)
0,13	0
0,15	0
0,16	0
0,18	0,01
0,20	0,04
0,21	0,12
0,24	0,27
0,26	0,44
0,28	0,61
0,31	0,73
0,34	0,79
0,38	0,78
0,41	0,72
0,45	0,62
0,50	0,51
0,55	0,42
0,60	0,37
0,66	0,35
0,72	0,37
0,79	0,43
0,87	0,53
0,95	0,7
1,05	0,93
1,15	1,2
1,26	1,5
1,39	1,8

1,52	2,09
1,67	2,37
1,83	2,62
2,01	2,84
2,21	3,04
2,42	3,21
2,66	3,37
2,92	3,52
3,21	3,66
3,52	3,79
3,86	3,91
4,24	4
4,66	4,04
5,11	4,01
5,61	3,9
6,16	3,71
6,76	3,44
7,42	3,1
8,15	2,69
8,94	2,25
9,82	1,83
10,78	1,54
11,83	1,42
12,99	1,45
14,26	1,56
15,65	1,63
17,18	1,6
18,86	1,46
20,71	1,26
22,73	1,06
24,95	0,87
27,39	0,66
30,07	0,45
33,01	0,26
36,24	0,18
39,78	0,22
43,67	0,41
47,94	0,76
52,63	0,85
57,77	0,58
63,42	0,15
69,62	0,02
76,43	0
83,90	0
92,10	0

Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Selanjutnya, data tersebut dikonversi menjadi grafik untuk melihat pola distribusi partikulat dalam *syngas* dari produk atas *cyclone* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3.  
Grafik Distribusi Partikulat dalam Aliran *Syngas* dari Produk Atas *Cyclone*  
Sumber Data: Hasil Olahan Data Penelitian

Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa masih banyak partikulat yang lolos khususnya partikulat berukuran di atas 4 mikron karena efisiensi *cyclone* yang rendah seiring dengan masih tingginya suhu *syngas* umpan *cyclone* yang bisa mencapai di atas 800°C. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu umpan *cyclone* maka semakin rendah efisiensi pemisahan padatan dari gasnya karena viskositas udara naik seiring dengan tingginya suhu gas.

## METODE

Metode yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung efisiensi *wet venturi scrubber* adalah sebagai berikut :

1. Mengolah data dari grafik dan tabel distribusi diameter partikulat yang terdapat dalam produk atas *cyclone*, yang akan menjadi umpan dari *wet venturi scrubber* (Tabel 1 dan Gambar 3). Dalam hal ini, blok-blok diagram yang ada dalam grafik, diklasifikasikan berdasarkan *range* diameter partikulat;
2. Menghitung volume ( $m^3/jam$ ) untuk setiap *range* diameter partikulat;
3. Menghitung massa dan fraksi massa untuk setiap *range* diameter partikulat;
4. Menghitung Efficiency Collection untuk setiap *range* diameter partikulat yang mengacu pada Gambar 4. Secara detail, grafik yang akan digunakan adalah grafik venturi scrubber; yaitu kurva dan

simbol yang berwarna ungu pada Gambar 4.

5. Menghitung Fraksional dari Efficiency Collection untuk setiap range diameter partikulat;
6. Menghitung total efisiensi dari *wet venturi scrubber*.

Selanjutnya, beberapa asumsi untuk menyederhanakan perhitungan efisiensi *wet venturi scrubber* perlu diambil, yaitu :

1. Semua partikel berbentuk bola, sehingga ukuran partikel yang diambil adalah diameter;
2. Debit umpan partikulat padatan menuju *wet venturi scrubber* sebesar 0,06 m<sup>3</sup>/jam yang diambil dari data produk atas *cyclone* saat pengambilan sampel partikulat;
3. Densitas dari partikulat padatan diasumsikan sama dengan desnitas char berdasarkan dari hasil analisis penelitian adalah 446 kg/m<sup>3</sup>.

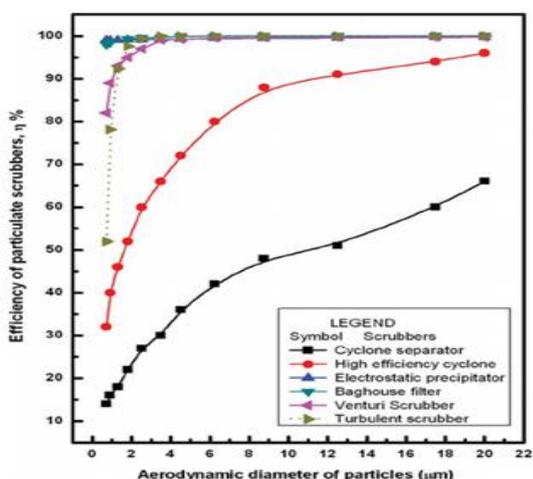


Figure 8. Comparison of particle removal efficiencies of different scrubber types with turbulence (color figure available online).

Gambar 4. Grafik Diameter Partikel vs Efisiensi partikulat untuk *Scrubber* <sup>12)</sup>

### HASIL DAN PEMBAHASAN

*Range* diameter partikulat ditentukan menjadi 10 range, yaitu 0 - 1, 1 - 2, 2 - 4, 4 - 6, 6 - 8, 8 - 10, 10 - 20, 20 - 40, 40 - 60, dan 60 - 80 mikrometer, agar hasil perhitungan lebih akurat. Jika *range* diameter partikulat tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan data yang terdapat dalam Tabel 1, maka didapatkan klasifikasi range diameter partikulat vs % volume, sebagai berikut :

Tabel 2. Diameter Partikulat vs % Volume

No.	Diameter Partikulat (µm)	Volume (%V)
1	0-1	8,81
2	1-2	12,51
3	2-4	27,33
4	4-6	15,94
5	6-8	10,25
6	8-10	6,77
7	10-20	10,66
8	20-40	4,96
9	40-60	2,6
10	60-80	0,17
Total (V <sub>i</sub> )		100,00

*Range* diameter partikulat dengan volume terbanyak adalah range diameter antara 2 - 4 mikrometer, lalu disusul dengan *range* diameter 4 - 6 mikrometer. Hal ini terjadi karena efisiensi pemisahan partikulat padatan di *cyclone* belum efektif.

Setelah itu, masing-masing *range* diameter partikulat dihitung massa, fraksi massa dan efisiensi koleksi (*Collection Efficiency*) dengan mengacu pada Grafik 4 dan asumsi-asumsi yang sudah ditentukan di atas.

Selanjutnya, dengan persamaan 5 dan 6 tersebut, didapatkan hasil seperti dalam Tabel 3 dan 4 di bawah ini :

Tabel 3. Diameter Partikulat vs Volume

No.	Diameter Partikulat (µm)	Volume (V <sub>s</sub> ) (m <sup>3</sup> /jam)
1	0-1	0,0053
2	1-2	0,0075
3	2-4	0,0164
4	4-6	0,0096
5	6-8	0,0061
6	8-10	0,0041
7	10-20	0,0064
8	20-40	0,0030
9	40-60	0,0016
10	60-80	0,0001
Total		

Tabel 4.  
Diameter Partikulat vs Massa

No.	Diameter Partikulat (µm)	Massa (M <sub>s</sub> ) (kg/jam)	Fraksi Massa
1	0-1	2,36	0,09
2	1-2	3,35	0,13
3	2-4	7,31	0,27
4	4-6	4,27	0,16
5	6-8	2,74	0,10
6	8-10	1,81	0,07
7	10-20	2,85	0,11
8	20-40	1,33	0,05
9	40-60	0,70	0,03
10	60-80	0,05	0,00
<b>Total</b>		<b>26,76</b>	<b>1,00</b>

Selanjutnya, penentuan efisiensi koleksi *venturi scrubber* untuk setiap *range* diameter partikulat berdasarkan pada Gambar 4, dengan metode seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

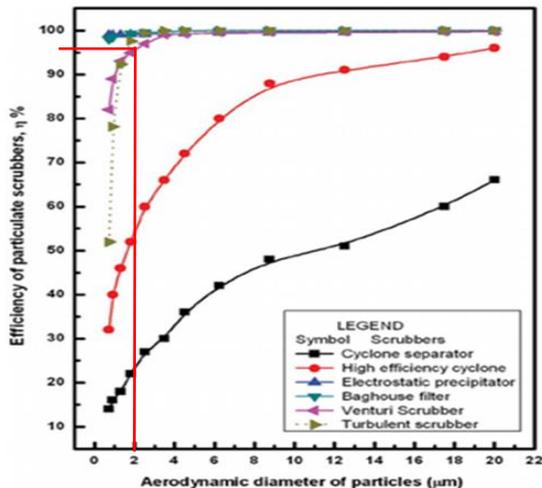


Figure 8. Comparison of particle removal efficiencies of different scrubber types with turbulence (color figure available online).

Gambar 5.  
Contoh Penentuan Efisiensi Koleksi untuk *Venturi Scrubber* <sup>12)</sup>

Contoh metode yang dilakukan untuk Gambar 5 adalah untuk *range* diameter partikulat 1 – 2 mikrometer dan asumsi nilai yang diambil adalah diameter partikulat terendah dalam *range* diameter tertentu.

Berdasarkan pada Gambar 5, didapatkan efisiensi koleksi untuk *range* diameter partikulat antara 1 – 2 mikrometer adalah 0,96 (96%). Dengan demikian, efisiensi koleksi *venturi scrubber* untuk tiap-tiap *range*

diameter partikulat dapat ditentukan seperti pada tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5.  
Diameter Partikulat vs Efisiensi Koleksi Partikulat oleh *Scrubber*

No.	Diameter Partikulat (Mikron)	Fraksi Massa	Efisiensi Koleksi
1	0-1	0,09	0,82
2	1-2	0,13	0,96
3	2-4	0,27	0,99
4	4-6	0,16	0,99
5	6-8	0,10	1
6	8-10	0,07	1
7	10-20	0,11	1
8	20-40	0,05	1
9	40-60	0,03	1
10	60-80	0,00	1

Berdasarkan pada data di kolom Efisiensi Koleksi dalam Tabel 5, efisiensi koleksi *venturi scrubber* semakin menurun untuk mengambil partikulat yang berukuran di bawah 6 mikrometer.

Tabel 6.  
Diameter Partikulat vs Fraksional Efisiensi Koleksi Partikulat oleh *Scrubber*

No.	Diameter Partikulat (µm)	Efisiensi Koleksi	Fraksional Efisiensi Koleksi
1	0-1	0,82	0,07
2	1-2	0,96	0,12
3	2-4	0,99	0,27
4	4-6	0,99	0,16
5	6-8	1	0,10
6	8-10	1	0,07
7	10-20	1	0,11
8	20-40	1	0,05
9	40-60	1	0,03
10	60-80	1	0,00
<b>Total</b>			<b>0,9748</b>

Berdasarkan pada data di kolom Fraksional Efisiensi Koleksi dalam Tabel 6, maka jumlah fraksional efisiensi koleksi dari *wet venturi scrubber* dalam penelitian ini adalah 97,48%. Dengan demikian, untuk *range* diameter partikulat seperti pada Tabel

2, sebagai umpan *wet venturi scrubber*, maka efisiensi performa dari *scrubber* tersebut sebesar 97,48%.

## SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil analisis tersebut di atas, ukuran partikel yang terikut dalam produk atas *cyclone* atau umpan *syngas wet scrubber* sangat mempengaruhi efisiensi atau performa dari *wet scrubber*. Secara detail, semakin banyak partikel dengan ukuran besar (20 – 80 mikrometer), maka semakin tinggi efisiensi dari *wet scrubber*. Sebaliknya, semakin banyak partikel dengan ukuran kecil (< 20 mikrometer) maka semakin rendah efisiensi dari *wet scrubber*.

*Droplet* atau butiran cairan yang terdispersi dapat memerangkap semua partikel-partikel padatan berukuran minimal 6 mikrometer dan 99% padatan ukuran di atas 2 mikrometer, 96% padatan minimal 1 mikrometer dan 82% padatan maksimal 1 mikrometer yang terikut oleh *syngas* dalam umpan.

Sebagian partikulat padatan yang masih lolos dari *droplet* cairan disebabkan karena partikulat tersebut dapat melewati celah antar *droplet* cairan, sehingga tidak menyentuh dan terperangkap oleh *droplet* cairan.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan di atas, bahwa efisiensi koleksi partikulat padatan oleh *venturi scrubber* sebesar 97,48% masih tinggi dan dapat diaplikasikan sebagai pilihan peralatan utama dalam proses *syngas cleaning* dalam sebuah sistem gasifikasi batubara yang efektif dan efisien.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang membantu dalam melancarkan dan menyelesaikan penelitian ini, yaitu tim teknis PTSEIK - BPPT, dan tim teknis tekMIRa-Kementerian ESDM.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan, *Laporan Akhir : Kajian Ketercapaian Target DMO*

*Batubara Sebesar 60% Produksi Nasional pada Tahun 2019*, Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional, 2016, p96.

2. Reid, D., Bearden, M.D., Cabe, J.E., *PNNL Coal Gasification Research*, Pacific Northwest National Laboratory, 2010, p1.
3. Horiba Instruments, Inc., *A Guidebook to Particle Size Analysis*, Horiba Instruments, Inc, USA, 2017, p1.
4. Roos, C., *Clean Heat and Power Using Biomass Gasification for Industrial and Agricultural Projects*, U.S. Department of Energy, 2010, p1-9.
5. Singh, R., Shukla, A., *A Review on Methods of Flue Gas Cleaning from Combustion of Biomass*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, Elsevier, Ltd., 2013, p858.
6. Bashir, K., *Design and Fabrication of Cyclone Separator*, China University of Petroleum, 2015, p1.
7. Ali, M., Chnag Qi, Y., Mehboob, K., *A Review of Performance of a Venturi Scrubber*, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 4, 2012, p3811.
8. Karan, J., et al., *Thermal Oxidizer Basics*, The John Zink Hamworthy : Combustion Handbook, Second Edition, Volume 3 : Applications, Taylor & Francis Group, LLC, 2014, p187.
9. Sly, Inc., <https://www.slyinc.com/products/wet-scrubbers/venturi-wet-scrubber/>, diakses Januari 2019.
10. *Energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest*, <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/venturi-scrubber>, diakses Januari 2019.
11. Centeri, et al., *Comparison of Particle-Size Analyzing Laboratory Methods*, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 14, No. 5, 2015, p1126.
12. Lee, et al., *Evaluating the Performance of a Turbulent Wet Scrubber for Scrubbing Particulate Matter*, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2013, 63:5, p505.