

ANALISIS MODIFIKASI MESIN INSINERATOR PADA PROSES PENGENDALIAN EMISI DI POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG

Faherza Audi, A.Md^[1], Dr. Heri Setiawan, ST., MT^[2],

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

JL. Kanayakan No.21 Dago, Bandung, 40135 Phone/Fax : 022 250 0241 / 2502649

Email : faherzaaudi@gmail.com^[1], herisetiawan529@gmail.com^[2]

ABSTRAK

Permasalahan utama dari pengolahan sampah saat ini di Indonesia adalah penumpukannya sampah di TPA (*landfilling*). Penyelesaian masalah dengan metoda *landfilling* tidak dapat mengurangi volume sampah yang dihasilkan secara signifikan. Adapun solusi yang dapat mengurangi volume sampah secara signifikan yaitu menggunakan insinerator. Mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung pada proses pengendalian emisinya menggunakan komponen *staged combustion* dan *wet scrubber*. Menurut standar insinerator yang dikeluarkan EPA (*Environmental Protection Act*) diperluakannya komponen pengendali emisi yaitu berupa *scrubber* yang dapat berjenis *jet,venturi*, atau *wet*, kemudian adanya *fabric filters*, dan *electrostatic percipitator*. Dikarenakan pada instalasi awal tidak memiliki komponen *fabric filters* maka dilakukannya modifikasi dengan penambahan komponen pengendali polutan *particulate matter* berupa *fabric filters* dan ditambahkan komponen *heat exchanger* untuk menurunkan temperatur dari *flue-gas* yang akan dialiri ke komponen *fabric filters* agar mencapai temperatur standar *flue-gas* dari Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengelolaan Sampah Secara Termal. Hasil dari analisis yang dilakukan pada modifikasi mesin insinerator mendapatkan bahwa terjadinya penurunan temperatur sebesar 92,8 °C dari 119,8°C dengan laju volume emisi udara sebesar 0,618 m³/min. Adapun konsentrasi emisi setelah modifikasi untuk polutan PM, CO dan Nox sebesar 180, 745, 572 mg/m³ sedangkan konsentrasi emisi sebelum modifikasi sebesar 385, 832, 645 mg/m³

Kata kunci : *Limbah, Insinerator, Pengendalian Emisi, Konsentrasi Emisi*

1. PENDAHULUAN

Limbah padat atau biasa disebut sampah menurut UU-18/2008 tentang Pengelolaan Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat (Damanhuri & Padmi, 2010). Permasalahan utama dari pengolahan sampah saat ini di Indonesia adalah penumpukannya sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Penumpukan sampah ini terjadi karena paradigma pengelolaan sampah yang digunakan adalah kumpul-angkut-buang (Damanhuri & Padmi, 2010). Pada saat ini terdapat penanganan akhir untuk sampah berupa

proses insinerator (*incinerator*). Insinerator adalah sebuah alat yang menggunakan sistem insinerasi, dimana metodenya menghancurkan sampah padat dengan membakarnya pada temperatur tinggi (600°C ÷ 1100°C) kemudian melalui serangkaian pengendalian polutan udara agar tidak menghasilkan gas buang yang berbahaya (Hermansyah, 2017). Penanganan akhir dengan proses insinerasi merupakan proses yang dapat mengurangi volume sampah secara signifikan. Mesin insinerator pada umumnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu *burner system*, dan *flue gas treatment*. *Flue gas treatment*


merupakan proses pengendalian emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran di mesin insinerator. Terdapat banyak jenis metoda dan komponen pengolahan emisi gas (APCD/*Air Pollution Control Device*), dimana tiap-tiap metoda dan komponen memiliki tujuan dan pengendalian senyawa polutan yang berbeda-beda. Pada instalasi mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung memiliki salah satu komponen APCD yaitu *wet scrubber*. Adapun dengan hanya tersedia satu komponen pengolahan maka instalasi mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung dapat dilakukannya sebuah modifikasi yang kemudian dilakukan proses analisis lebih lanjut. Pada penjelasan di atas maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Modifikasi Mesin Insinerator pada Proses Pengendalian Emisi di Politeknik Manufaktur Bandung”.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data di penelitian ini, penulis menggunakan alat uji berupa termocouple, *thermo gun*, dan instrumen sensor terpadu dengan arduino uno (sensor debu GP2Y1014AU0F, sensor *air quality* MQ-135, sensor suhu DS18B20, sensor CO MQ-7, sensor kelembaban DHT11), Adapun penjelasan lebih lanjut pada Tabel 1. untuk masing-masing alat uji sebagai berikut.

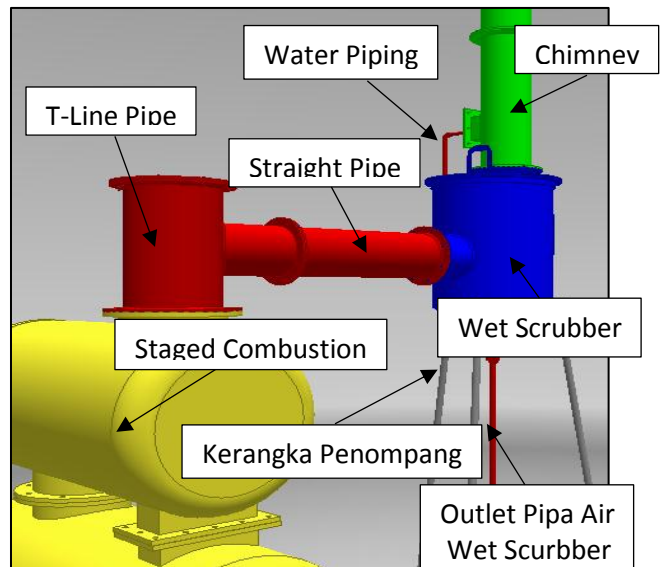
Tabel 1 Alat Uji Pengambilan Data

Visual	Keterangan
	Termocouple
Sumber : Dokumentasi	

	Thermo gun
Sumber : www.google.com	
	Instrumen alat ukur konsentrasi emisi
Sumber : Dokumentasi	

2.2 Instalasi Awal

Instalasi awal pengolahan emisi gas dari instalasi mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung (Gambar 1) terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *T-Line Pipe*, *Straight Pipe*, *Wet Scrubber*, *Water Piping*, *Chimney*, Kerangka Penompang dan *Outlet Pipa Air Wet Scrubber*. Pada instalasi awal pengolahan emisi hanya memiliki dua komponen pengendali emisi yaitu *staged combustion* dan *wet scrubber*

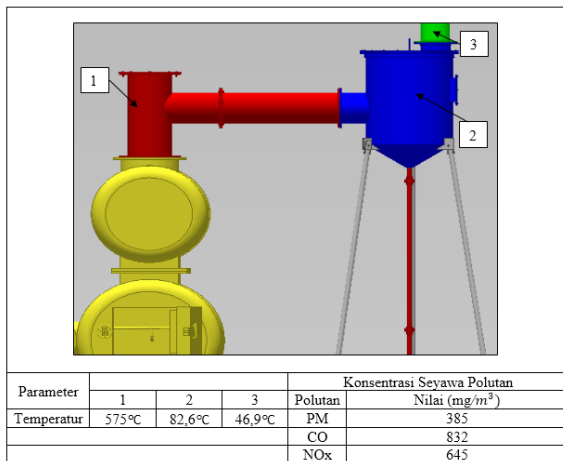


Gambar 1 Instalasi Awal Mesin Insinerator

2.2.1 Prinsip Kerja Instalasi Awal

Prinsip kerja dari instalasi awal pengolahan emisi gas merupakan serangkaian proses yang dimulai dari *Staged Combustion*, kemudian dilanjutkan kepada komponen *Wet Scrubber*. Gas buang hasil proses pembakaran (*Flue-gas*) dari *thermal treatment* dialirkan melalui *T-Line Pipe* yang kemudian melewati *Straight Pipe*. Pada bagian *Wet Scrubber*, emisi gas mengalami proses penyaringan oleh penyebaran air yang telah dipompa dari bak penampung air yang kemudian dialirkan kepada ruang *Wet Scrubber*. Setelah melalui proses *Wet Scrubbing*, senyawa polutan akan terikat kepada substansi air dari penyebaran dan dialirkan kepada lubang pembuangan/*outlet*. Gas yang telah tersaring akan diteruskan menuju *chimney* dan dibuang ke udara bebas.

2.2.2 Hasil Pengujian Instalasi Awal



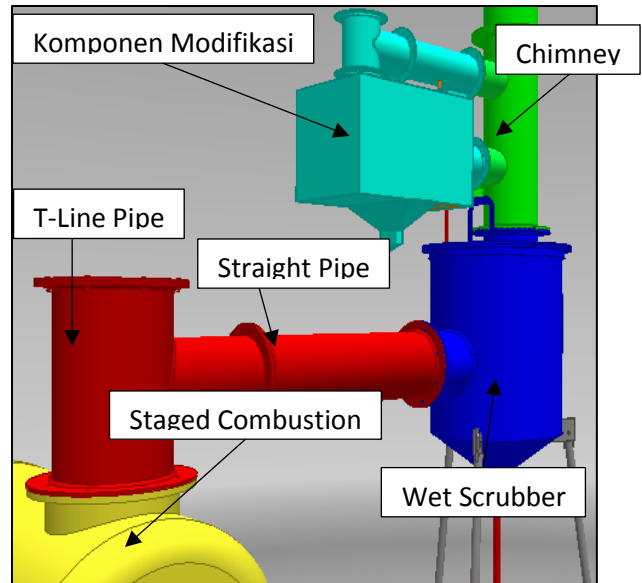
Gambar 2 Hasil Pengujian Instalasi Awal

Terlihat pada Gambar 2 diatas, dapat dijelaskan bahwa pada pengujian pertama menghasilkan data untuk temperatur pada tiap titiknya dengan nilai secara berurutan yaitu 575°C; 82,6°C; 46,9°C. pada titik 3 memiliki nilai 12 m/s. Dan didapatkan konsentrasi senyawa polutan dengan nilai PM 120 mg/m³, CO 832 mg/m³, NOx 645 mg/m³.

2.3 Instalasi Modifikasi

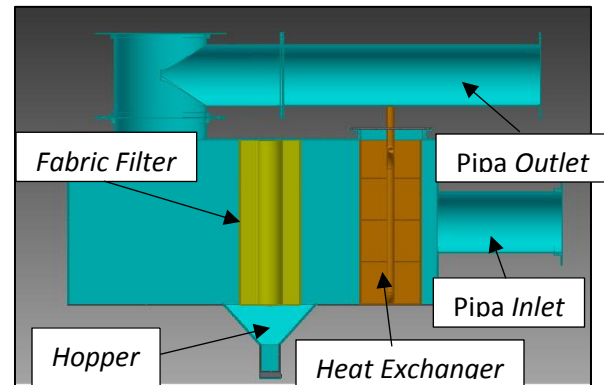
Instalasi modifikasi pengolahan emisi gas dari instalasi mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung (Gambar 3) terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *Staged Combustion*, *T-Line Pipe*, *Straight Pipe*, *Wet*

Scrubber, *Water Piping*, *Heat Exchanger*, *Fabric Filter*, *Chimney*, Kerangka Penompang, dan *Outlet Pipa Air Wet Scrubber*.



Gambar 3 Instalasi Modifikasi Mesin Insinerator

Adapun dapat dijelaskan untuk komponen modifikasi memiliki konstruksi seperti pada Gambar 4 sebagai berikut



Gambar 4 Konstruksi Komponen Modifikasi

2.3.1 Prinsip Kerja Instalasi Modifikasi

Prinsip kerja dari instalasi awal pengolahan emisi gas merupakan serangkaian proses yang dimulai dari *Staged Combustion*, kemudian dilanjutkan kepada komponen *Wet Scrubber*. Gas buang hasil proses pembakaran (*Flue-gas*) dari *thermal treatment* dialirkan melalui *T-Line Pipe* yang kemudian melewati *Straight Pipe*. Pada bagian *Wet Scrubber*, emisi gas mengalami proses penyaringan oleh penyebaran air yang telah dipompa dari bak penampung air yang kemudian

4.2 Analisis Sampah



Gambar 6 Sampah instalasi awal (kiri) sampah instalasi setelah dimodifikasi (kanan)

Sumber: Dokumentasi

Sampah yang digunakan dari pengambilan data awal dan pengambilan data setelah dimodifikasi menggunakan mayoritas berupa sampah plastik dan sampah organik. Dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa sampah berjenis kertas putih dipisahkan dan juga sampah botol plastik yang masih dapat didaur ulang dipisahkan. Adapun dapat dijelaskan bahwa dari keberagaman unsur sampah tersebut, dilakukan pemilahan agar mencapai tingkat kesamaan yang cukup.

4.3 Analisis Instalasi Insinerator

Tabel 2 Perbandingan Instalasi dengan Standar

Faktor	Standar	Kondisi Awal	Kondisi Setelah Modifikasi
Sistem Pembakaran			
Kapasitas	12kg/jam	30kg/jam	30kg/jam
Temperatur			
Ruang Bakar 1	540-980°C	600-800°C	600-800°C
Ruang Bakar 2	850-1100°C	800-1000°C	800-1000°C
Gas	<230°C	525°C	625°C
Air Flows	Memadai	Memadai	Memadai
Limbah	>90% dari berat	93% dari berat	93% dari berat
Lingkungan	Adanya atap, minim dinding	Adanya atap, minim dinding	Adanya atap, minim dinding
Cerobong Asap	4-5 m	6 m	6 m
Pengendali Emisi			
Jumlah Komponen	4	2	3
Temperatur	25°C	46,9°C	27°C
Visual	<5%	90-100%	20-30%

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 diatas bahwa pada instalasi mesin insinerator telah memiliki beberapa spesifikasi yang memenuhi standar menurut EPA. Adapun spesifikasi tersebut yaitu memiliki laju pembakaran yang telah memenuhi dengan nilai sebesar 30 kg/jam, kemudian memiliki tinggi chimney yang telah masuk kepada standar insinerator *small scale* dengan tinggi sebesar 6 m, memiliki temperatur pembakaran pada ruang bakar pertama sebesar

600-800°C dan pada ruang bakar kedua sebesar 800-1000°C. Akan tetapi pada temperatur gas akan dialirkan kepada komponen pengendali emisi masih belum mencapai standar yaitu sebelum modifikasi memiliki nilai sebesar 525°C dan setelah modifikasi memiliki nilai sebesar 625°C. Dalam hal ini seharusnya temperatur gas yang memasuki komponen pengendali emisi memiliki temperatur kurang dari 230°C. Adapun selain dari aspek-aspek tersebut dapat dijelaskan pula pada instalasi awal mesin insinerator di Politeknik Manufaktur Bandung memiliki komponen pengendali emisi berupa *staged combustion* dan *scrubber* bertipe basah/wet. Maka dapat diartikan bahwa pada instalasi awal mesin insinerator mempunyai 2 komponen pengendali emisi. Adapun setelah dilakukan modifikasi dengan menambahkan komponen *fabric filters*, maka jumlah komponen pengendali emisi menjadi 3 yang menurut standar direkomendasikan 4 jenis. Oleh karena itu, dengan dilakukannya modifikasi dapat meningkatkan spesifikasi dari instalasi mesin insinerator agar mendekati kepada standar yang ada

4.4 Analisis Media Penyaringan

Tabel 3 Spesifikasi Media Penyaringan

No	Parameter Spesifikasi	Nilai
1.	Material	Wool
2.	<i>Corrosiveness</i>	
	Abrasi	Bagus (<i>good</i>)
	Asam	Cukup Bagus (<i>fair</i>)
	Alkali	Rendah (<i>poor</i>)
	<i>Solvent</i>	Bagus (<i>good</i>)
3.	Area	0,148 m ²
4.	Ketahanan Temperatur	100 °C

Dapat dijelaskan bahwa media penyaring berbahan dasar wool ini dipilih karena memiliki ketahanan yang cukup baik untuk polutan yang bersifat asam juga untuk *solvent*. Adapun dalam hal ini dapat dijelaskan pula media penyaring ini mempunyai ketahanan terhadap temperatur yang sesuai dengan kondisi dari mesin insinerator yang ada di Politeknik Manufaktur Bandung. Media penyaringan berbahan dasar wool ini, melakukan sistem penyaringan dengan prinsip menyaring (*straining/sieving*). Prinsip ini merupakan mekanisme dimana partikel lebih besar dari porositas media penyaring dan tidak memiliki gaya inersia yang cukup akan tertahan dan

terpisah dari aliran fluidanya. Maka dalam hal ini, *flue-gas* yang mengandung polutan *particulate matter* yang berukuran menurut literatur sebelumnya yaitu $2,5-10\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5-10}$) akan tertahan oleh media penyaringan dan kemudian terpisah dari aliran fluidanya. Adapun setelah terpisah dari aliran *flue-gas* nya, maka *particulate matter* akan tertahan di media penyaring dan jatuh kepada bagian *hopper* di konstruksi instalasi komponen modifikasi yang kemudian dapat dibersihkan secara berkala

4.5 Analisis Emisi

Adapun dapat dilakukan analisis dari hasil pengambilan data sebelumnya dengan melakukan perbandingan data antara konstruksi awal, konstruksi modifikasi dan baku mutu emisi standar Indonesia. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Perbandingan Data Konsentrasi Emisi

Konstruksi Awal			Baku Mutu Emisi		
Konsentrasi Senyawa Polutan			Konsentrasi Senyawa Polutan		
PM	CO	Nox	PM	CO	NOx
385	832	645	120	625	470

Konstruksi Modifikasi			Baku Mutu Emisi		
Konsentrasi Senyawa Polutan			Konsentrasi Senyawa Polutan		
PM	CO	Nox	PM	CO	Nox
180	745	572	120	625	470

Konstruksi Awal			Konstruksi Modifikasi		
Konsentrasi Senyawa Polutan			Konsentrasi Senyawa Polutan		
PM	CO	NOx	PM	CO	NOx
385	832	645	180	745	572

Dapat dilihat pada Tabel 4 diatas, merupakan perbandingan konsentrasi senyawa polutan. antara hasil uji konstruksi awal dengan konstruksi setelah dimodifikasi. Instalasi setelah modifikasi menghasilkan perubahan konsentrasi emisi cenderung menurun. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa pada proses penambahan komponen *fabric filter* dapat membuat pengaruh yang secara kuantitatif yang dapat dijelaskan bahwa polutan *particulate matter* mengalami penurunan konsentrasi emisi sebesar 205 mg/m^3 . Sedangkan untuk polutan CO mengalami penurunan konsentrasi emisi sebesar 207 mg/m^3 , dan polutan NOx mengalami penurunan konsentrasi emisi sebesar 73 mg/m^3 dalam hal ini dapat dianalisis bahwa pada proses pembakaran kedua (*staged combustion*) mencapai nilai temperatur 625°C yang

menyebabkan proses pengurangan kadar polutan CO dan NOx berkurang. Adapun visualisasi dari emisi yang dihasilkan dari mesin insinerator dapat dilihat pada Gambar 7 ini



Gambar 7 Visualisasi dari emisi instalasi awal (kiri) setelah modifikasi (kanan)
Sumber: Dokumentasi

Dapat terlihat pada Gambar 7 diatas bahwa hasil emisi dari mesin insinerator sebelum dimodifikasi menghasilkan asap keluaran yang hitam pekat. Dapat dijelaskan pula bahwa hasil emisi dari mesin insinerator setelah dimodifikasi menghasilkan asap keluaran berwarna abu-abu halus. Adapun standar untuk visualisasi emisi (opasitas) yang direkomendasikan dapat dijelaskan pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8 Standar Opasitas Emisi

Sumber: Buku BREF, European Commissions, 2006

Adapun menurut standarnya opasitas dari instalasi awal memiliki nilai sebesar 90%-100% sedangkan untuk opasitas dari instalasi setelah dimodifikasi memiliki nilai sebesar 20-30%. Dalam hal ini dapat dianalisis bahwa dengan menggunakan pengolahan komponen pengendalian emisi berupa *staged combustion* dan *wet scrubber* tidak cukup untuk menekan emisi hasil keluaran dari proses pembakaran sampah di mesin insinerator. Maka dengan ditambahkannya komponen modifikasi berupa *fabric filters* pada instalasi mesin insinerator ini dapat menghasilkan emisi terkendali. Selaras dengan hasil pengujian menggunakan instrumen khusus, dimana terjadinya penurunan konsentrasi emisi untuk polutan karbon monoksida sebesar 207 mg/m^3 . Dalam hal ini, polutan karbon

monoksida yang membuat emisi berwarna pekat dikarenakan unsur karbon yang tidak terbakar sempurna seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa jika pembakaran tidak sempurna akan menyebabkan terbentuknya polutan CO yang lebih banyak.

4.6 Analisis Temperatur

Pada saat proses pengambilan data temperatur di instalasi insinerator, ada beberapa alat uji yang digunakan yaitu alat uji *thermo-gun*, *thermocouple*, dan instrumen sensor temperatur DS18B20. Pengambilan data terdiri dari 4 titik. Titik ke-1 merupakan titik pengambilan data untuk mengetahui temperatur setelah dari proses *staged combustion*, pada titik 1 ini pengambilan data menggunakan *thermocouple*. Titik ke 2 merupakan titik pengambilan data untuk mengetahui temperatur di ruang *wet scrubber*, pada titik 2 ini pengambilan data menggunakan *thermo-gun*. Titik 3 & 4 merupakan titik pengambilan data untuk mengetahui temperatur sebelum memasuki komponen modifikasi dan setelah melewati komponen modifikasi, pada titik pengambilan data ini menggunakan instrumen sensor temperatur DS18B20.

Pada titik pengambilan data ke-2, dilakukan menggunakan alat uji *thermo-gun*. Dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa pada proses pengambilan tersebut dilakukan dengan cara mengarahkan sensor laser dari *thermo-gun* ke dinding luar dari komponen *wet scrubber*. Dikarenakan tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk mengetahui temperatur *flue-gas* yang ada di dalam komponen *wet scrubber*, maka dengan pengambilan data ini dapat dilakukan koreksi temperatur untuk temperatur *flue-gas* tersebut dengan cara perhitungan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_{fluid} - T_{meas} = (T_{meas} - T_{air}) \left[\frac{1 - \theta_{crit}}{\theta_{crit}} \right] \quad (7)$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = (T_{meas} - T_{air}) \left[\frac{1 - 0,7840}{0,7840} \right]$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = 0,276 (T_{meas} - T_{air})$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = 0,276 (82,6^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = 57,6^{\circ}C$$

$$T_{fluid} = 57,6^{\circ}C + T_{meas}$$

$$T_{fluid} = 57,6^{\circ}C + 82,6^{\circ}C$$

$$T_{fluid} = 140,2^{\circ}C \text{ (sebelum modifikasi)}$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = 0,276 (72,4^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$T_{fluid} - T_{meas} = 47,4^{\circ}C$$

$$T_{fluid} = 47,4^{\circ}C + 72,4^{\circ}C$$

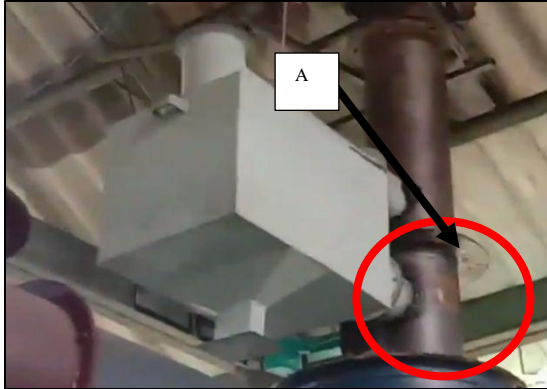
$$T_{fluid} = 119,8^{\circ}C \text{ (setelah modifikasi)}$$

Dapat dijelaskan dengan mengetahui temperatur dinding luar komponen (T_{meas}) sebesar $82,6^{\circ}C$, kalor jenis dinding komponen (c) sebesar $0,460 \text{ KJ/mm}^2$ memiliki koefisien koreksi (θ_{crit}) sebesar $0,7840$. Maka didapat temperatur fluida (*flue-gas*) sebelum modifikasi adalah $140,2^{\circ}C$. Sedangkan untuk temperatur setelah modifikasi memiliki nilai sebesar $119,8^{\circ}C$. Adapun kemudian dapat dijelaskan lebih lanjut mengenai temperatur yang terjadi pada tiap-tiap titik pengambilan data di instalasi mesin insinerator pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Perbandingan Temperatur

Titik	Temperatur Sebelum Modifikasi ($^{\circ}C$)	Temperatur Setelah Modifikasi ($^{\circ}C$)
1	575	625
2	140,2	119,8
3	46,9	38
4		27

Dapat dijelaskan pada Tabel 4.8 diatas bahwa temperatur pada tiap titik pengambilan datanya mengalami penurunan temperatur. Dalam hal ini dapat dilakukan analisis bahwa dengan penambahan komponen *heat exchanger* pada instalasi mesin insinerator memiliki dampak penurunan temperatur yang cukup signifikan. Adapun posisi dari *heat exchanger* yang terletak pada posisi pengambilan sample titik ke-4, mengalami penurunan suhu sebesar $92,8^{\circ}C$ dari suhu titik ke 2. Adapun dapat dijelaskan pada titik ke 3 mengalami penurunan suhu yang cukup signifikan yaitu sebesar $81,8^{\circ}C$ dikarenakan posisi penutup *chimney* yang memperlambat laju alir udara. Adapun penjelasan lebih lanjutnya terlihat pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9 Posisi Komponen Modifikasi
Sumber : Dokumentasi

Terlihat pada lingkaran merah posisi penunjukan A merupakan penutup *chimney* yang dipasang pada posisi tersebut untuk menutup aliran emisi agar masuk dan mengalir ke komponen modifikasi. Dapat dijelaskan bahwa pada posisi tersebut juga merupakan posisi spray dari *wet scrubber*. Pada posisi tersebut kinerja dari spray untuk penyebaran air pada *chamber wet scrubber* mengalami peningkatan efektifitas penyebaran air, hal ini dikarenakan pada aliran udara pada posisi tersebut mengalami benturan dengan komponen penutup *chimney* dan membuat aliran menjadi turbulen dan memperlambat laju arusnya. Dikarenakan laju alir emisi diperlambat maka menyebabkan waktu untuk proses penangkapan polutan oleh air dan waktu proses perpindahan panas dari *flue-gas* ke air menjadi lebih efektif. Oleh karena itu, dalam kondisi ini membuat adanya penurunan suhu yang cukup signifikan sebesar $92,8^{\circ}\text{C}$. Penurunan temperatur ini dapat bermanfaat untuk mengurangi laju korosi terhadap komponen modifikasi, memperpanjang umur dari media penyaringan, juga agar memenuhi syarat dari baku mutu emisi yang dimana *flue-gas* harus mencapai suhu ambien udara (25°C) untuk diperbolehkan dilepaskan ke udara bebas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses pengendalian emisi yang telah dimodifikasi memiliki prinsip kerja dengan menambahkan komponen *heat exchanger* untuk menurunkan suhu *flue gas* sebesar $92,8^{\circ}\text{C}$ dan

komponen *fabric filters* untuk mengendalikan polutan *particulate matter*, dimana pada instalasi mesin insinerator sebelumnya hanya menggunakan komponen *staged combustion* dan *wet scrubber* untuk melakukan proses pengendalian polutan berupa NO_x dan gas asam. Adapun laju volume gas buang sebesar $0,618 \text{ m}^3/\text{min}$.

2. Hasil analisis modifikasi pada mesin insinerator pada proses pengendalian emisi di Politeknik Manufaktur Bandung mendapatkan hasil bahwa konsentrasi emisi yang dihasilkan untuk polutan PM, CO dan NO_x secara berurutan sebesar 180, 745, $572 \text{ mg}/\text{m}^3$ dengan baku mutu emisi yang seharusnya sebesar 120, 625, $475 \text{ mg}/\text{m}^3$.

5.2 Saran

Dengan merujuk dari kesimpulan yang telah didapatkan, penulis menyarankan beberapa hal sebagai evaluasi bagi pembaca dan pendukung inovasi berkelanjutan. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Dapat dilakukannya peningkatan kinerja komponen *wet scrubber* dengan penambahan menggunakan *adsorbent agent*.
2. Dapat dilakukannya pembuatan konstruksi *platform* pendukung agar mudah mengakses komponen-komponen tinggi.
3. Dapat dilakukannya pembuatan monitoring konsentrasi emisi yang *continuous* dengan memanfaatkan teknologi IoT.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azhar, K., Dharmayanti, I., & Mufida, I. (2014). *Kadar Debu Partikulat (PM_{2,5}) dalam Rumah dan Kejadian ISPA pada Balita di Kelurahan Kayuringin Jaya, Kota Bekasi Tahun 2011*. Bekasi: Kemenkes RI.
- [2] Chandler, A. J., Eighmy, T. T., Hartlen, J., Hjelmar, O., Kosson, D. S., Sawell, S. E., . . . Vehlow, J. (1997). *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Amsterdam : Elsevier Science B.V.
- [3] Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Diktat Kuliah TL-3014 Pengelolaan Sampah*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

- [4] Environmental Protection Act. (1990). *Environmental Protection Act*. London: TSO (The Stationery Office).
- [5] European Commission. (2006). *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration*.
- [6] European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. (2017). *JRC Reference Report on Monitoring of emissions to air and water from IED installations*. Seville: European Commission.
- [7] Gorman, J. M., Sparrow, E. M., & Abraham, J. P. (2013). *Differences between measured pipe wall surface temperatures and internal fluid temperature*. Minnesota: Elsevier.
- [8] Hermansyah. (2017). *Rancang Bangun Insinerator Dua Tahap (Solusi Mengatasi Polusi Udara Pada Pembakaran Sampah)*. Makassar: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- [9] Incineration Task Force of the Water Environment Federation. (2009). *Wastewater Solids Incineration Systems*. Virginia: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [10] Janna, W. S. (2018). *Engineering Heat Transfer Third Edition*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [11] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016*. Jakarta: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- [12] Niessen, W. R. (2002). *Combustion and Incineration Processes*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [13] Purwanta, W., & Suryanto, F. (2018). Perancangan ID Fan dan Cerobong pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Sampah. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol 19 No 2*, 173.
- [14] Samiaji, T. (2012). *Karakteristik Gas N₂O (Nitrogen Oksida) di Atmosfer Indonesia*. Jakarta: LAPAN.
- [15] Sparks, T., & Chase, G. (2016). *Filters And Filtration Handbook Sixth Edition*. Oxford United Kingdom: Elsevier.
- [16] Sukamta, Wiranata, A., & Thoharuddin. (2017). Pembuatan Alat Incinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 147-153.
- [17] Tammemagi, H. Y. (1999). *The Waste Crisis : Landfills, Incinerators, and The Search for A Sustainable Future*. New York: Oxford University Press, Inc.