
RANCANG BANGUN *VENTURI SCRUBBER* TERHADAP PENURUNAN EMISI JELAGA

Dian Prabowo¹, Syaiful², Jamari³

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang

diansheva@yahoo.co.id¹, syaiful_pnc@yahoo.com², j.jamari@gmail.com³

Abstrak

Kata Kunci:

scrubber;
venture;
standar ISO 5167-4;
Delphi-7;
Solidworks 2010;
desain;
jelaga.

Dunia industri dan kendaraan yang ada pada saat ini membuat tingkat polusi semakin meningkat. Sering kita melihat asap tebal membubung keluar dari cerobong pabrik, asap tebal tersebut merupakan limbah gas yang dikeluarkan pabrik kelilingkungan. Sistem *scrubber* adalah kumpulan berbagai alat kendali polusi udara yang dapat digunakan untuk partikel dan atau gas dari arus gas keluaran industri. Istilah *scrubber* juga digunakan untuk menggambarkan system yang menyuntikan atau memasukan bahan aktif kering atau *liquid* kedalam arus gas kotor untuk membersihkan gas asam. Perancangan venturi *scrubber* ini bertujuan merancang venturi *scrubber* untuk menurunkan emisi jelaga pada mesin diesel injeksi langsung, mendapatkan desain venturi *scrubber* yang sesuai standar dan menurunkan emisi kadar jelaga. Perancangan ini diawali dengan menentukan alternatif desain, menentukan dimensi venturi dan material yang akan digunakan untuk membangun venturi *scrubber*. Hasil dari langkah ini adalah sebuah gambar kerja yang siap untuk diwujudkan melalui pengerjaan mesin. Berikutnya adalah membuat komponen-komponen berdasarkan hasil desain pada langkah sebelumnya. Komponen-komponen tersebut kemudian dirangkai menjadi sebuah alat. Langkah terakhir adalah melakukan uji desain venturi menurut standar Jenis venturi dan persyaratan ukuran yang ada pada standar ISO 5167-4. Pembuatan program hitungan perancangan venturi *scrubber* menggunakan *software* Delphi-7 dengan data *pressure drop*, *liquid to gas ratio*, *diameter ratio*, diameter pipa, diameter *throat*, *renold number* dan jenis aliran yang terjadi serta desain menggunakan Solidworks 2010.

Abstract

Keywords:

Scrubber;
Venturi;
ISO 5167-4 standard;
Delphi-7;
Solidworks 2010;
design;
soot.

The industrial world and vehicles that currently exist increase the pollution level. We often see thick smoke rising out of the factory chimney, as a gas waste released to the environment. The scrubber system is a collection of various air pollution control devices that can be used for particles and / or gases from gas flows of industrial output. The term scrubber is also used to describe a system that injects or inserts a dry or liquid active ingredient into a dirty gas flow to clean acid gas. The design of the venturi scrubber aims to reduce soot emissions on direct injection diesel engines, get a standard venturi scrubber design and reduce soot levels. This design begins with determining the alternative design, the venturi dimensions and the material that will be used to build the venturi scrubber. The result of this step is a working drawing that is ready to be manufactured through machining. Next step is to make the components based on the design results in the previous step. These components are then assembled into a tool. The final step is to do the venturi design test according to the venturi type standard and the size requirements that are listed in the ISO 5167-4 standard. The manufacturing process of a venturi scrubber design program use Delphi-7 software with pressure drop data, liquid to gas ratio, diameter ratio, pipe diameter, throat diameter, rehold number and the type of flow that occurs and and the design by using Solidworks 2010.

✉Alamat korespondensi:

E-mail: diansheva@yahoo.co.id

ISSN : 2087 - 1627

1. Pendahuluan

Semakin banyaknya dunia industri dan kendaraan yang ada pada saat ini membuat tingkat polusi semakin meningkat. Industri selalu dikaitkan sebagai sumber pencemaran karena aktifitas industri merupakan kegiatan yang nampak dalam pembebasan senyawa kimia ke lingkungan. Sering kita melihat asap tebal membubung keluar dari cerobong pabrik, asap tebal tersebut merupakan limbah gas yang dikeluarkan pabrik ke lingkungan. Teknologi pengolahan limbah gas sebelum dibuang ke lingkungan bebas masih sering diabaikan. Tingkat kenaikan polusi dikarenakan penanganan pengolahan limbah yang belum baik.

Suatu penelitian menyatakan bahwa pengangkutan merupakan sumber yang memberikan iuran terbesar dalam emisi pencemaran per tahun dan dalam hal ini terus meningkat karena adanya penambahan kendaraan dalam lalu lintas di jalan raya pada lima tahun terakhir. Industri memberikan bagian yang relatif kecil pada pencemaran atmosfer jika dibandingkan dengan pengangkut. Namun karena kegiatan industri merupakan aktifitas yang mudah diamati dan merupakan golongan sumber pencemaran titik (*point source of pollutant*), masyarakat pada umumnya lebih menganggap industri sebagai sumber utama polutan yang menyebabkan udara tercemar. Belum lagi dengan limbah padat dan limbah cair industri yang semakin memperparah *image* negatif industri dimasyarakat.

Pencemaran udara merupakan peristiwa pemasukan dan/atau penambahan senyawa, bahan, atau energi ke dalam lingkungan udara akibat kegiatan alam dan manusia sehingga temperature dan karakteristik udara tidak sesuai lagi untuk tujuan pemanfaatan yang paling baik. Atau dengan singkat dapat dikatakan bahwa nilai lingkungan udara tersebut telah menurun. Pencemaran udara yang disebabkan oleh aktifitas manusia dapat ditimbulkan dari 6 (enam) sumber utama, yaitu:

- Pengangkutan dan transportasi.
- Kegiatan rumah tangga.
- Pembangkitan daya yang menggunakan bahan bakar fosil.
- Pembakaran sampah.
- Pembakaran sisapertanian dan pembakaran hutan.
- Pembakaran bahan bakar dan emisi proses.

Peralatan pemrosesan yang menggunakan bahan bakar minyak banyak menimbulkan polusi dari hasil pembakarannya. Jelaga yang terkandung dalam hasil pembakaran merupakan salah satu polusi udara yang masih langsung terbuang bebas.

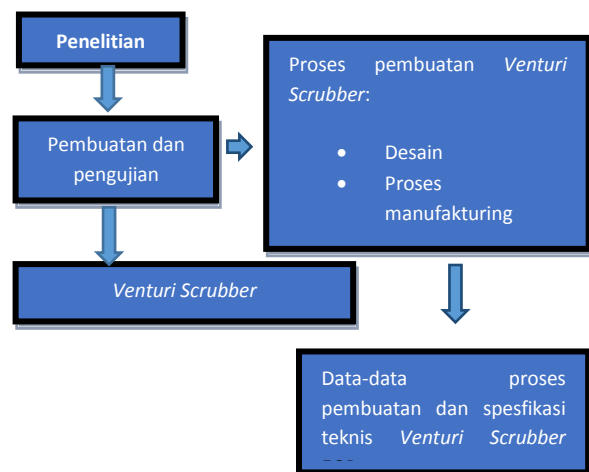
Penggunaan mesin diesel berkembang pula dalam bidang otomotif, antara lain untuk angkutan berat, traktor, kendaraan umum dsb. Mesin diesel mempunyai salah satu keunggulan adalah sistem pembakarannya menggunakan *compression-*

ignition yang tidak memerlukan busi. Sistem ini memungkinkan tercapainya tekanan awal yang tinggi sebelum terjadi proses pembakaran. Hal ini akan meningkatkan *thermal-efficiency* dibandingkan sistem yang lain. Keunggulan yang lain adalah fleksibilitas jenis bahan bakar yang bisa digunakan. Karena pembakaran yang terjadi tidak memerlukan pengontrolan bunga api, maka berbagai jenis bahan bakar bisa dipakai. Misalnya, minyak tanah, alkohol, *biofuel* (minyak sawit, minyak kelapa, minyak jarak, dsb), emulsi (campuran air dan solar), dsb.

Pada perancangan *venturi scrubber* ini digunakan sebagai *cooler* dan *particulate trap*. Gas buang yang disirkulasikan kembali ke ruang bakar terlebih dahulu dilewatkan pada *venturi* untuk dikontakkan dengan *scrubber* air sehingga temperatur gas turun dan sebagian jelaga terperangkap. Perancangan ini untuk meneliti pengaruh *venturi scrubber* terhadap penurunan emisi jelaga selain itu penelitian ini untuk menentukan desain *venturi* yang sesuai dengan standar.

2. Material dan Metode

Penelitian yang dilakukan merupakan salah satu bagian dari penelitian Laboratorium Perancangan Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Gambar 1 menunjukkan *roadmap* penelitian yang dilakukan penulis di Laboratorium Perancangan Teknik.



Gambar 1. *Flowchart* roadmap penelitian.

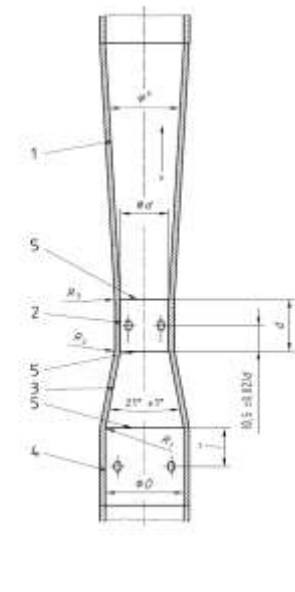
Penelitian pembuatan *venturi scrubber* dimulai dengan mendapatkan desain yang akan dibuat yang didasarkan pada standar, kemudian dilanjutkan karakteristik proses manufaktur yang akan dilakukan, dari proses tersebut didapatkan data-data proses pembuatan dan spesifikasi teknis *venturi scrubber*. Langkah selanjutnya setelah mendapatkan hasil akhir dilakukan tahap penjelasan detail pembuatan atau manufaktur *venturi scrubber*

Perancangan *Venturi Scrubber* ini didasarkan pada standar International ISO 5167-4, *first edition 2003-03-01 Part 4 Venturi tube* [1]. Selain itu perancangan ini mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu N.D. Charisiou [2]. Menjelaskan tentang penelitian pengembangan perangkat lunak generik yang memungkinkan pengguna untuk menghitung prediksi *venturi scrubber* efisiensi dan penurunan tekanan menggunakan model *Calvert et al* [3] dan *Johnstone et al* [4], untuk perhitungan *pressure drop* dikembangkan oleh *Young et al* [5], [6][6] melalui berbagai kondisi operasi. Ini telah dirancang dengan menggunakan MATLAB. Tujuan dari penelitian ini adalah tinjauan kinerja *venturi scrubber* untuk membuat desain yang optimal untuk mencapai standar yang dibutuhkan.

Standard International ISO 5167-4, *first edition 2003-03-01 "Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full". Part 4 Venturi tube* [1]. Yang berisikan standar dalam pembuatan tabung *venturi*, baik ukuran, material yang dipakai dan manufaktur. Tipe dari *venturi* menurut ISO 5167 ada tiga jenis, yaitu: *Classical venturi tube with an "as Cast"*, *Classical venturi tube with Machined* dan *Classical venturi tube with rough welded sheet-iron*. Desain *venturi* menurut standar ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Jenis *venturi* dan persyaratan ukuran yang ada pada standar ISO 5167-4 dapat dilihat dibawah ini:

- a) *Classical Venturi tube with an "as cast" convergent section.*
 - Diameter pipa (D) : $100 \text{ mm} \leq D \leq 800 \text{ mm}$
 - Throat diameter (d) : $d \geq 30.0 \text{ mm}$
 - Diameter ratio ($\beta=d/D$) : $0.3 \leq \beta \leq 0.75$
 - Reynolds number (Re_D) : $2 \cdot 10^5 \leq Re_D \leq 2 \cdot 10^6$
- b) *Classical Venturi tube with a machined convergent section.*
 - Diameter pipa (D) : $50 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}$
 - Throat diameter (d) : $10 \geq d \geq 30.0 \text{ mm}$
 - Diameter ratio ($\beta=d/D$): $0.4 \leq \beta \leq 0.75$
 - Reynolds number (Re_D): $2 \cdot 10^5 \leq Re_D \leq 1 \cdot 10^6$
- c) *Classical Venturi tube with a rough-welded sheet-iron convergent section.*
 - Diameter pipa (D) : $200 \text{ mm} \leq D \leq 1200 \text{ mm}$
 - Throat diameter (d) : $d \geq 80.0 \text{ mm}$
 - Diameter ratio ($\beta=d/D$) : $0.4 \leq \beta \leq 0.7$
 - Reynolds number (Re_D): $2 \cdot 10^5 \leq Re_D \leq 2 \cdot 10^6$



Gambar 2. Desain *venturi* menurut standar Internasional ISO 5167-4, *first edition 2003-03-01*

3. Hasil dan Pembahasan

Pentuan hasil dari data desain di hitung dengan menggunakan program delphi-7 [7] yang dimulai dari perancangan *venturi scrubber* ini desain mekanik dari sistem *scrubber* disesuaikan dengan standar ISO 5167-4. Dari input yang dimasukkan pada data inputan yaitu kecepatan aliran gas (m/s^2), temperatur gas ($^\circ\text{C}$), temperatur *liquid* yang digunakan ($^\circ\text{C}$), diameter pipa dari sumber keluaran dari gas yang nantinya terhubung ke alat yang dirancang (mm) dan panjang *throat* (cekikan) yang akan direncanakan (mm), dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



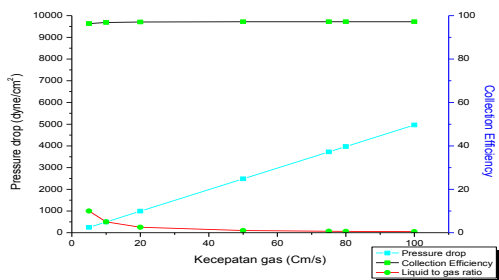
Gambar 3. Tampilan data input *venturi*



Gambar 4. Tampilan data hasil

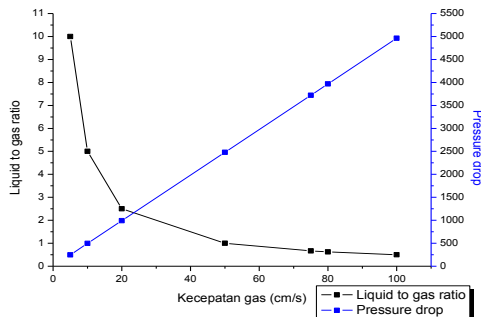
Hasil dari perhitungan perancangan venturi scrubber akan di tampilkan pada tampilan data hasil pada program delphi-7 yang digunakan. Hasil dapat langsung didapat setelah data input yang dimasukkan dalam data input. Data tersebut kemudian disesuaikan dengan standar ISO 5167-4 untuk menentukan besarnya diameter pipa venturi (D,mm), diameter throat (d, mm), serta pada tampilan disertakan jenis aliran yang terjadi pada venturi tersebut.

Gambar grafik 5,6,7,8 dan 9 hasil perhitungan perancangan menggunakan Delphi-7 dapat dilihat pada data dalam berbagai variasi parameter yang diambil dalam bentuk grafik yang disesuaikan dengan standar yang ada.



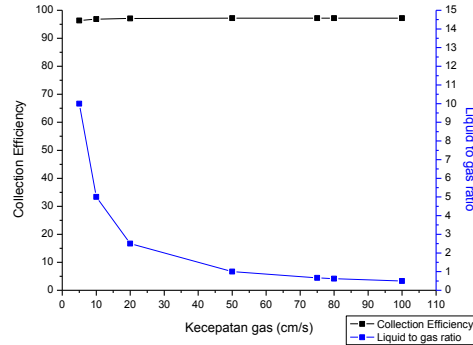
Gambar 5. Grafik hasil perancangan dengan menggunakan perhitungan program Delphi Pressure drop, kecepatan gas, liquid to gas ratio dan collection efficiency

Pada Gambar 5 menjelaskan bahwa memprediksicollection efficiency jauh lebih tinggi bahkan pada nilai liquid to gas ratio rendah. Sesuai dengan model Johnstone.Dan meningkatnya Pressure drop dengan meningkatnya kecepatan gas.



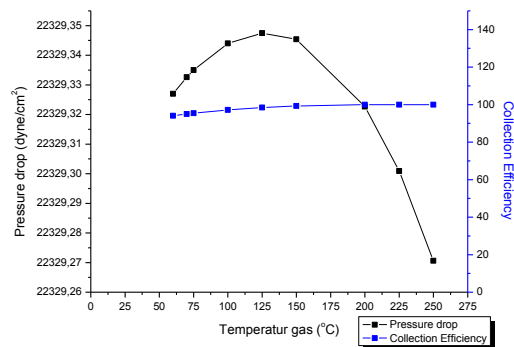
Gambar 6. Grafik hasil perancangan dengan menggunakan perhitungan program Delphi Pressure drop, Kecepatan gas dan Liquid to gas ratio

MeningkatnyaPressure drop berbanding terbalik dengan Liquid to gas ratio yang semakin menurun dengan perbedaan kecepatan gas yang masuk dalam pipa venturi dilihat pada Gambar 6.



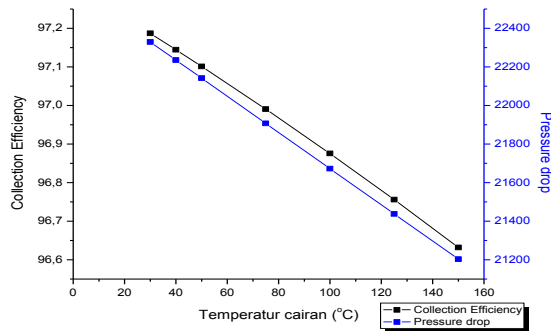
Gambar 7. Grafik hasil perancangan dengan menggunakan perhitungan program Delphi Liquid to gas ratio, Temperatur gas dan Collection Effisiensi

Pada Gambar 7 menjelaskan semakin meningkatnya Collection Effisiensi maka Liquid to gas ratio juga akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan gas yang masuk dalam pipa venturi. Sedangkan Liquid to gas ratiomenurun dengan meningkatnya kecepatan gas dan akan menurunkanCollection Effisiensi.



Gambar 8. Grafik hasil perancangan dengan menggunakan perhitungan program Delphi Pressure drop, Temperatur gas dan Collection Effisiensi

Pada Gambar 8 menjelaskan meningkatnya Collection Effisiensilebih tinggi dengan pengaruh perbedaan temperatur gas, dan perubahan Pressure drop dengan adanya perubahan temperatur gas yang mengalir pada venturi.



Gambar 9. Grafik hasil perancangan dengan menggunakan perhitungan program Delphi *Pressure drop*, *Temperatur cairan* dan *Collection efficiency*

Pada Gambar 9 menjelaskan hubungan antar *pressure drop*, *temperatur cairan* dan *collection efficiency*, dimana *pressure drop* dan *collection efficiency* akan menurun dengan semakin meningkatnya *temperatur cairan* yang disemprotkan/dikabutkan kedalam venturi.

Dengan hasil dari perancangan mempunyai spesifikasi parameter sebagai berikut:

- Gas density (ρ_g , kg/m³)
- Fluida density (ρ_l , kg/m³)
- Gas viscosity (μ_g , N.s/m²)
- Debit aliran gas (Q_g , m³/s)
- Debit aliran Fluida (Q_l , m³/s)
- Cunningham slip correction factor (C_c , dimensional)
- Particle aerodynamic geometric mean diameter (d_{pg} , μ m)
- Gas velocity in venturi throat (v_{gt} , m/s)
- Droplet diameter (d_d , cm)
- Reynolds Number (N_{Reo} , dimensional)
- Drag coefficient for liquid (C_d , dimensional)
- Parameter for L/G ratio (B , dimensional)
- Inertial parameter for mass-median diameter (K_{pg} , dimensional)
- Penetration for one particle size ($Pt(d_p)$)
- Collection efficiency (η , %)
- Throat length parameter (ℓ , dimensional)
- Pressure drop (ΔP , dyne/cm²)
- Liquid to gas ratio (L/G, dimensional)
- Diameter ratio (β , dimensional)
- Dan hasil ketiga berupa tabel yang berisikan hasil dari diameter pipaventuri (D , mm), diameter throat (d , mm).

Salah satu implementasi dari aplikasi yang dibuat adalah membuat prototipe salah satu ukuran dari hasil desain yaitu:

- Diameter pipa (mm) = 100 mm
- Panjang pipa (mm) = 300 mm
- Diameter throat (mm) = 40 mm

- Panjangthroat (mm) = 40 mm



Gambar 10. Prototipe salah satu ukuran dari hasil desain

Berdasarkan pada Gambar 10, pada pipa bagian atas dilengkapi dengan pipa untuk air yang dikabutkan yang panjang pipa dapat diatur sesuai dengan keinginan. Sedangkan pada bagian pipa bawah terdapat saluran pembuangan air.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa Telah berhasil merancang bangun *venture scrubber* dengan spesifikasi teknis sesuai dengan standar ISO 5167-4 menggunakan program delphi-7, serta Memanfaatkan Program delphi-7 dalam memecahkan rancang bangun *venturiscrubber* dengan standar ISO 5167-4.

Daftar Pustaka

- [1] B. STANDARD and B. ISO, "Part 4: Venturi tubes." 2003.
- [2] N. Charisiou, N. Argiropoulos, K. Papageridis, and M. Goula, "Comparison of different collection efficiency models for Venturi scrubbers using a general software," in *Proceedings of the PRE-XI (11th International Conference on the Protection and Restoration of the Environment)*, Thessaloniki, 2012.
- [3] S. Calvert, D. Lundgren, and D. S. Mehta, "Venturi Scrubber Performance," *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 22, no. 7, pp. 529–532, Jul. 1972.
- [4] H. F. Johnstone, R. B. Feild, and M. C. Tassler, "Gas Absorption and Aerosol Collection in a Venturi Atomizer," *Ind. Eng. Chem.*, vol. 46, no. 8, pp. 1601–1608, Aug. 1954.
- [5] S.-C. Yung, H. F. Barbarika, and S. Calvert, "Pressure Loss in Venturi Scrubbers," *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 27, no. 4, pp. 348–351, Apr. 1977.
- [6] S.-C. Yung, S. Calvert, and H. F. Barbarika, "Venturi scrubber performance model," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 456–459, Apr. 1978.
- [7] W. Komputer, *Panduan Praktis Pemrograman Borland Delphi 7.0*. Yogyakarta: Andi, 2007.