

## PERANCANGAN ALAT FILTER UDARA PADA CEROBONG ASAP BOILER BAHAN BAKAR BATUBARA

Moh. Rizal Ar Rasyid<sup>1,\*</sup>, Zakky Maftukhil Wafa<sup>2</sup>, Mochammad Anassyah Rusedo<sup>1</sup>,  
Zufarsyah Raihan<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima 22-04-2023

Disetujui 10-06-2023

Dipublikasikan 05-10-2023

#### Keywords:

Filter Udara; CerobongAsap;  
Boiler

### Abstrak

Dalam era industry 4.0 seperti sekarang ini dapat menambah terjadinya Pemanasan Global (Global Warming) yang salah satunya disebabkan oleh asap yang dibuang dari kegiatan produksi pada pabrik, dan salah satunya adalah penggunaan mesin Boiler, Dalam proses menjalankan mesin Boiler masih memiliki kendala yaitu tentang asap yang ditimbulkan dari proses pembakaran bahan bakar batu bara yang digunakan untuk menjalankan boiler tersebut untuk menghasilkan uap guna proses produksi pada pabrik yang mengandung Sulfur Oxide (SO<sub>x</sub>), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>) dan Merkuri (Hg). Kandungan pada asap tersebut sangat berbahaya untuk kesehatan masyarakat dan kondisi alam. Maka permasalahan yang seperti itu penulis memberikan solusi dengan merancang alat Filter Udara Pada Cerobong Asap Boiler Bahan Bakar Batu Bara untuk mengurangi kandungan berbahaya yang terkandung pada saat proses pembakaran batu bara pada Boiler belangsung dan simulasi monitoring kadar CO dan SO dengan menggunakan sensor gas pada software proteus

### Abstract

In the industrial era 4.0 as it is today, it can add to the occurrence of Global Warming, one of which is caused by smoke discharged from production activities at factories, and one of them is the use boiler machines. Generated from the procces of burning coal fuel used to run the boiler to produce steam for the production process in factories containing Sulfur Oxide (SO<sub>x</sub>), Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>) and Mercury (HG). The content The content of the smoke is very dangerous for public health and natural conditions. So for problems like that the author provides a solution by designing an Air Filter tool in the Chimney of a Coal Fuel Boiler to reduce the harmful content contained during the coal burning process in the Boiler takes place and simulates monitoring CO and SO levels using a gas sensor in the proteus software

Alamat korespondensi:

Gedung E9 Lantai 2 FT Unnes

Kampus Sekaran, Gunung Pati, Semarang, 50229

E-mail: [mrizalarrasyid03@gmail.com](mailto:mrizalarrasyid03@gmail.com)

ISSN 2746-7694

<https://doi.org/10.15294/jim.v5i2.70031>

## PENDAHULUAN

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas dari uap air keluaran boiler tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Bejana bertekanan pada boiler umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (The ASME Code Boilers), terutama untuk penggunaan boiler pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material digunakan sebagai bahan pembuatan boiler seperti tembaga, kuningan, dan besi cor. Namun bahan-bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industry (Hasibuan & Napitupulu, 2013).

Mesin Boiler memerlukan bahan bahan bakar untuk proses produksinya, pada saat beroprasinya mesin boiler maka ada gas buang yang dihasilkan, akan tetapi gas buang itu mengandung banyak zat berbahaya bagi kesehatan manusia dan juga lingkungan. Selain itu efek yang ditimbulkan adalah Gas Rumah Kaca (GRK). Salah satu GRK paling utama adalah gas CO<sub>2</sub>. Sekitar 67% peningkatan gas CO<sub>2</sub> berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan 33% dari kegiatan penggunaan lahan, alih guna lahan dan hutan. Gas yang dikategorikan sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas-gas yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Pemanasan global akan berujung pada perubahan iklim yang menyebabkan berubahnya faktor-faktor iklim, seperti curah hujan, penguapan dan temperatur. Perubahan-perubahan ini juga akan memacu terjadinya bencana lingkungan yang terkait dengan faktor-faktor iklim untuk lebih sering terjadi, dengan besaran yang lebih dari sebelumnya.(Setiawan et al., 2012).

Oleh karena itu, polutan dari hasil pembakaran tersebut harus diolah terlebih dahulu dengan menggunakan alat filter udara yang berada pada cerobong asap boiler dengan menggunakan metode pengikatan ion negative menggunakan plat atau lempengan aluminium foil yang bermuatan positif dan pengikatan ion positif menggunakan tembaga yang bermuatan negative yang bertegangan tinggi sebelum dibuang ke lingkungan, dengan metode ini dapat mengurangi kandungan ion berbahaya yang keluar dari cerobong asap, kemudian partikel kecil yang menempel akan terlepas saat sumber tegangan yang berada di aluminium foil dan tembaga terputus, dengan demikian akan mempermudah dalam melakukan pembersihan dan juga asap yang keluar sudah berkurang kandungan berbahayanya supaya memenuhi Baku Mutu Emisi (BME) berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 07 tahun 2007 Lampiran IV tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap.

Batu bara adalah batuan yang terbentuk dari hasil dekomposisi tumbuhan-tumbuhan yang telah mati dan tersedimentasikan. Oleh karena itu, batu bara dianggap sebagai batuan yang bersifat organik, karena asal usulnya juga dari makhluk hidup. Batubara umumnya ditemukan pada lapisan-lapisan batuan sedimen, karena memang proses terbentuknya meliputi proses sedimentasi. Batu bara juga ditemukan di lapisan batuan lain jika terjadi uplift atau aktivitas tektonik lainnya. Karena berasal dari bahan organik, batu bara mengandung energi yang dikandung oleh jasad renik tersebut. Energi ini terwujud dalam bentuk rantai

karbon yang dapat terbakar dan mengeluarkan energi. Semakin banyak karbon yang terdapat dalam suatu batu bara, maka semakin tinggi energi yang dihasilkan oleh batu bara tersebut. Dalam pembakaran, kadar karbon yang tinggi akan menghasilkan api yang lebih besar dan panas. Selain karbon, batu bara juga kerap

mengandung sulfur dan mineral lainnya. Mineral ini sebenarnya merupakan ketidakmurnian dari batu bara, sehingga menurunkan kualitasnya. Batu bara berkualitas rendah yang memiliki banyak sekali sulfur cenderung akan menyebabkan polusi udara dan fenomena hujan asam ketika dibakar. Berbeda dengan batu bara berkualitas tinggi yang lebih bersih dan menghasilkan energi yang lebih besar.

## **METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan antara lain :

### **a. Metode Observasi**

Merupakan suatu cara untuk memperoleh data dan informasi dengan cara mengamati langsung obyek yang diteliti sehingga akan diperoleh data aktual sebagai pembandingan dari data yang diperoleh dari literatur. Metode ini dilakukan dengan cara terjun kelapangan dan menanyakan secara langsung aktivitas yang dilakukan di CV Sanjaya dan beberapa industri yang menjadi tempat pengerjaannya . Waktu observasi akan dilaksanakan pada 6 Februari sampai 6 Juli 2023 Saat observasi dijelaskan alur dari mesin Boiler mulai beroperasi sampai kandungan dan hal apa saja yang berkaitan dengan Boiler.

### **b. Metode Interview**

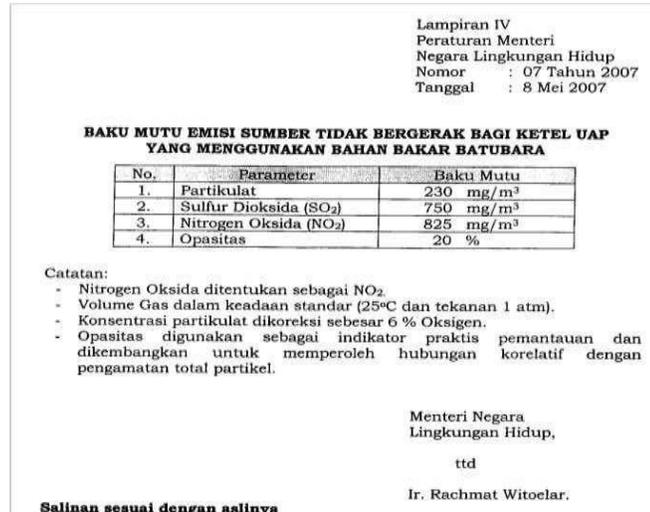
Merupakan suatu cara untuk memperoleh data dan informasi dengan melakukan wawancara secara langsung kepada narasumber yaitu pembimbing industri dan karyawan di CV Sanjaya yang sudah professional. untuk mengetahui masalah-masalah teknis di lapangan dilakukan dengan cara konsultasi, bertanya dan berdiskusi secara jelas dan detail untuk mendapatkan data dan informasi yang belum diketahui oleh penulis.

## **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bagian hasil akan menyajikan mengenai proses perancangan desain alat yang digunakan dan mensimulasikan sensor gas dengan menggunakan software Arduino dan Proteus.

### **1. Tinjauan Permasalahan Praktek Kerja Lapangan**

Dalam proses pembakaran Batu bara dalam penggunaan mesin boiler itu menghasilkan beberapa kandungan senyawa yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan, hal ini dikarenakan kurangnya system filter yang diterapkan pada mesin boiler sehingga gas buang dari proses produksi masih belum bersih atau netral dari senyawa berbahaya seperti Sulfur Oxide (SOx), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oxide (NOx) dan Merkuri (Hg). Maka dibutuhkan filter tambahan yang bisa mengurangi ataupun menetralkan senyawa berbahaya tersebut dan sensor untuk monitoring nilai PPM dari senyawa tersebut.



**Gambar 1.** Baku Mutu Bahan Bakar Batubara

Dalam penggunaan mesin boiler berbahan bakar batu bara sudah ditetapkan nilai baku mutu yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup yaitu pada nomor 07 tahun 2007. Sehingga pengguna boiler harus memperhatikan nilai dari gas buang yang dihasilkan dari boiler itu. Di perusahaan Cv Sanjaya menerapkan uji coba kelayakan boiler sebelum dikirimkan ke industry seperti uji coba efisiensi bahan bakar, kekuatan bahan, keamanan, kelayakan, dan nilai kandungan dari gas buangnya. Tabel 1 berikut adalah data yang didapat dari hasil pengujian boiler sebelum dikirim ke industry:

**Tabel 1.** Pengujian gas buang boiler 8 ton/jam (CV. Sanjaya Boiler, 2020)

**LOOS BOILER**

Kapasitas : 8 Ton/Jam

Untuk : PT HOLI MINA JAYA REMBANG

Jenis : Pengujian Gas Buang

Tanggal uji : 8 Januari 2020

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Emisi	Kisaran	Rata - Rata
1	Total Partikulat	mg/m <sup>3</sup>	230	8 - 2.025	311
2	Sulfur Dioksida	mg/m <sup>3</sup>	750	149 - 2.373	763

3	Opasitas	%	20%	<20%	-
4	Nitrogen Oksida	mg/m <sup>3</sup>	825	199 - 664	393
5	Karbon Monoksida	mg/m <sup>3</sup>	-	56 - 1855	698

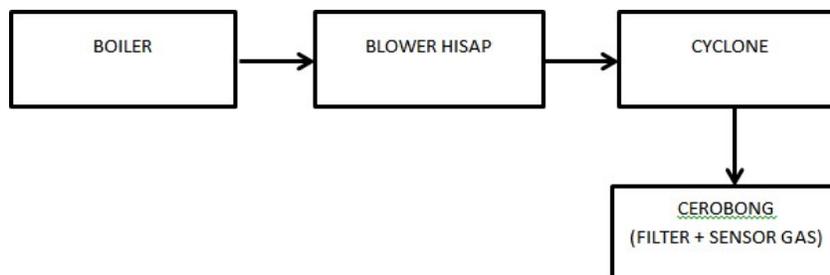
Berdasarkan data pengujian gas buang pada mesin boiler berbahan bakar batu bara yang dilakukan di Cv Sanjaya maka penulis melakukan perancangan desain filter dengan menggunakan system Elektrostatik Precipitator (ESP) dan simulasi monitoring kadar SO dan CO menggunakan 2 buah sensor gas yang disuulasikan pada soft ware Proteus. Dalam pengambilan data melalui sensor itu yang muncul adalah nilai dalam satuan ppm (part per million), untuk merubah nilai dari ppm ke satuan baku mutu yang ditetapkan oleh menteri lingkungan hidup yaitu (mg/m<sup>3</sup>) maka dapat menggunakan rumus persamaan (1)

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} = C \text{ (ppm)} \left( \frac{BM}{22400} \right) \times \left( \frac{273}{273 + t} \right) \times \left( \frac{P}{760} \right) \text{ (saar kondisi } 25^{\circ}\text{C, tekanan 1 atmosfer sama dengan 760mmHg) atau}$$

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} = (\text{konsentrasi dalam ppm}) \times (\text{berat molekul}) / 24,45 \tag{1}$$

## 2. Perancangan Blok Diagram

Berikut adalah Diagram blok perancangan yang menjelaskan proses gas buang pada mesin Boiler yang ditunjukkan pada Gambar 2.

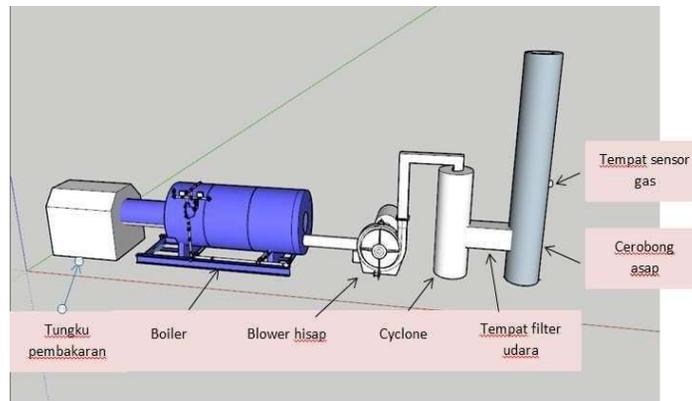


**Gambar 2.** Diagram Blok (Pengolahan Data 2020)

Gas buang yang awalnya berada di boiler untuk memanaskan air yang ada didalam boiler akan terhisap oleh blower hisap yang kemudian akan melalui cyclone, cyclone ini berfungsi sebagai filter pertama yang ada di boiler yang tujuannya untuk menyaring abu atau sisa batu bara berukuran kecil yang terhisap oleh blower, setelah melewati cyclone maka gas buang akan melalui filter asap yang sudah didesain ini. Setelah terfilter untuk kedua kalinya selanjutnya gas buang akan dimonitoring kandungannya dengan alat monitoring yang akan disimulasikan pada software proteus sebelum dibuang ke udara bebas.

### 3. Perancangan Pembuatan Desain Filter Udara

Elektrostatik Precipitator (ESP) adalah perangkat filtrasi yang menggunakan konsep elektrostatik untuk mengionisasi partikel halus seperti debu dan asap dari gas yang mengalir menggunakan kekuatan sebuah induksi muatan elektrostatik (Afrian dkk, 2015). Filter udara ini dibuat dengan memanfaatkan elektrostatik karena dapat menangkap partikel-partikel kecil dengan membuat partikel tersebut bermuatan, prinsip kerja dari filter ini adalah gas buang dari cyclone dilewatkan melalui pangkal cerobong yang berisi elektroda, yang terbuat dari tembaga dan aluminium foil. Elektroda-elektroda tersebut diberi arus listrik searah dengan muatan negatif. Dengan demikian, setiap butiran debu akan termuati oleh muatan negatif dengan tegangan tinggi sebesar 30-50 kV sebelum masuk ke dalam cerobong. Gas yang mengandung butiran debu bermuatan negatif ini bergerak dalam daerah yang terdiri dari pelat-pelat yang bermuatan positif. Maka debu-debu akan tertarik pada pelat-pelat tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Rangkaian Boiler (Pengolahan Data 2020)

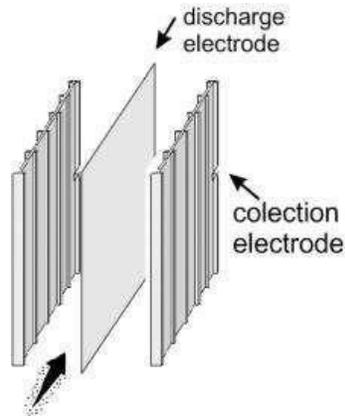
Gambar diatas adalah tampilan dari satu unit mesin boiler dengan part pendukungnya yang menampilkan tata letak setiap part dan juga letak dari filter dan alat monitoring yang akan desain dan di simulasikan.

- Perancangan Pembuatan Desain Elektrostatik precipitator

Dalam pembuatan desain Proses pembentukan medan listrik pada elektrostatik precipitator ialah sebagai

1. Terdapat dua jenis electrode, yaitu discharge electrode yang bermuatan negatif (-) dan collector plate electrode bermuatan positif (+)
2. Discharge electrode diletakkan diantara collector plate pada jarak tertentu (jarak antara discharge electrode dengan collector plate)
3. Discharge electrode diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan negatif, pada level tegangan antara 55 sampai dengan 75 kV DC (sumber listrik awalnya adalah 380 volt AC, kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar -55 sampai dengan -75 kV dan dirubah menjadi listrik DC oleh rectifier, diambil hanya potensial negatifnya)
4. collector plate ditanahkan (di-grounding) agar bermuatan positif
5. pada saat discharge electrode diberi arus DC, maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi

tirai-tirai elektroda tersebut akan mengionisasi partikel-partikel debu yang belum bermuatan menjadi partikel negatif. Kemudian partikel bermuatan negatif tersebut akan tertarik pada plat-plat yang bermuatan positif, serta gas bersih kemudian bergerak keujung cerobong asap kemudian keluar., dapat dilihat pada Gambar 4.

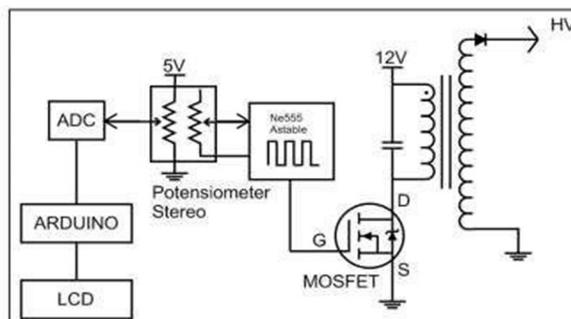


**Gambar 4.** Plat Filter (<https://docplayer.info/59111338>)

#### 4. Perancangan Desain Pembuatan Power Supply High Voltage

Pada prancangan pembuatan desain power supply high voltage digunakan transformer step up yang cukup besar perbandingannya, hingga diperoleh step up yang sesuai dengan keperluan berupa transformer flyback yang mampu bekerja hingga tegangan 70KV. Oleh karena itu perlu adanya pengontrol flyback yang selanjutnya dapat mengontrol tegangan yang sesuai dengan kebutuhan pada range 10KV hingga 70KV.

Power supply ini menggunakan driver flyback berbasis pulse timer NE555 astable yang nantinya mengatur mosfet untuk mengatur lebar pulsa yang dikirim pada transformer step up. Pengaturan lebar pulsa diatur menggunakan potensiometer. Agar hasil dari dari fungsi tegangan keluaran pada flyback dapat diketahui dengan mudah. Maka dari itu digunakan arduino jenis nano yang dapat tersambung dengan tampilan LCD. Fungsi dari arduino hanya bertugas dalam membaca ADC dan menampilkan data ADC yang telah diolah ke tampilan LCD dan perlu adanya kalibrasi terhadap tegangan keluaran berdasarkan ADC tersebut, dapat dilihat di Gambar 5.



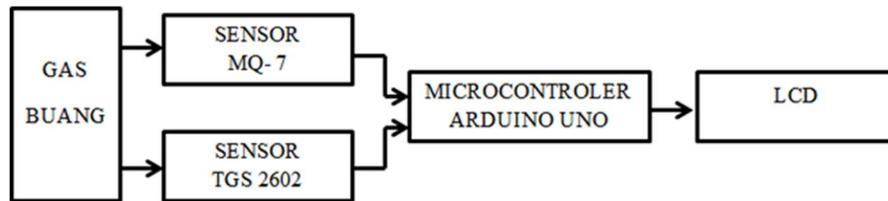
**Gambar 5.** Skema rangkaian power supply high voltage

Rangkaian ini digunakan untuk memonitoring nilai outputan dari transformer yang mana nilai itu diatur

menggunakan potensiometer

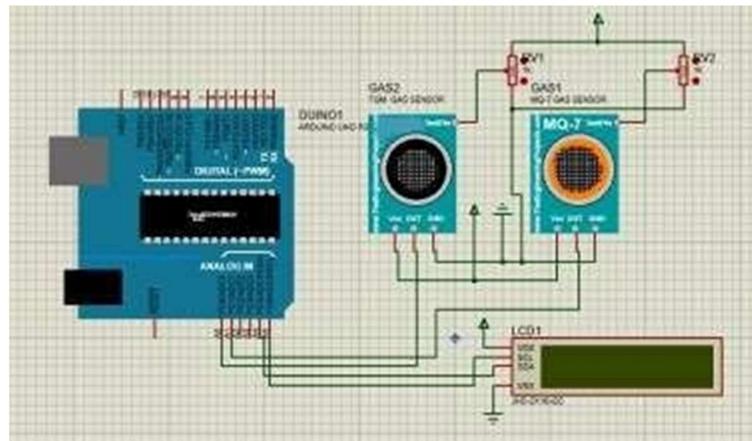
### 5. Simulasi Pembuatan Rangkaian Sensor Gas

Dalam perancangan pembuatan rangkaian untuk mendeteksi kandungan dari asap maka diperlukan dua sensor gas yaitu tipe MQ-7 untuk deteksi CO (karbon Monoksida) dan tipe TGS 2602 untuk mendeteksi SO (sulfur dioksida). Desain kedua sensor itu berada diatas filter udara yang dipasang dengan tujuan agar dapat memonitoring nilai dari gas CO dan SO. Sensor MQ-7 dan TGS 2602 (data analog) dihubungkan dengan mikrokontroler yaitu Arduino uno R3 untuk diproses dan hasilnya ditampilkan pada LCD (Liquid Cristal Display).



**Gambar 6.** Diagram blok sistem sensor(Pengolahan Data 2020)

Pada simulasi monitoring kadar CO dan SO ini menggunakan dua sensor yang datanya diolah pada mikrokontroler yang kemudian dikonversi kedalam satuan nilai PPM (Part Per Million) dan hasilnya ditampilkan pada LCD.



**Gambar 7.** Rangkaian sensor gas (Pengolahan Data 2020)

Rumus ADC nya didapat dari tegangan output (VRL) yang kemudian dikonversi menjadi digital dengan cara 5v dibagi dengan nilai analognya, setelah mendapatkan nilai adc maka bisa menggunakan rumus ini

$$R_s = (V_c * R_L / V_{RL}) - R_L \quad (2)$$

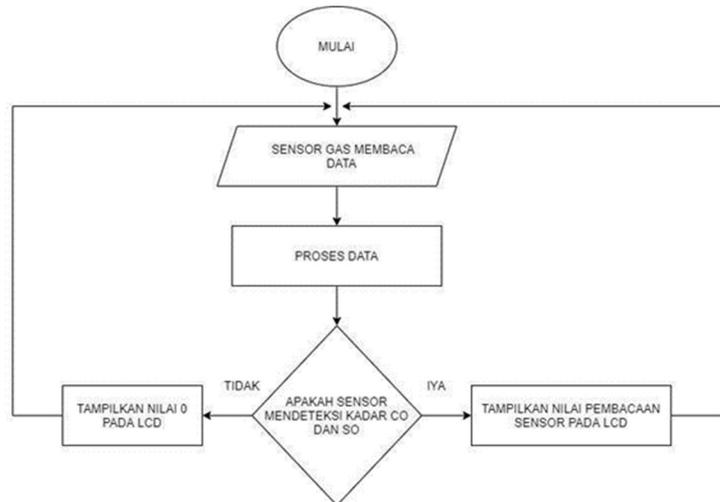
Dimana  $R_s$ =Tahanan pada sensor

$V_c$  = Tegangan yang masuk ke Sensor RL = Tahanan beban pada rangkaian VRL = tegangan output rangkaian

Untuk mencari hambatan sensor dan menggunakan rumus ini untuk mendapatkan nilai ppmnya

$$Ppm = 100 * ((r_s/r_o)^{-1.53}) \quad (3)$$

Dimana  $R_s$  adalah tahanan sensor pada kadar CO tertentu / yang sedang diukur dan  $R_o$  adalah tahanan sensor pada udara yang bersih dengan kadar CO 100ppm. Nilai ini didapatkan berdasarkan pembacaan grafik pada data sheet.



**Gambar 8.** Flow chart sensor gas (Pengolahan Data 2020)

Pada simulasi ini saat boiler beroperasi maka alat monitoring ini akan mulai bekerja dimana kedua sensor akan mendeteksi kadar CO dan SO yang bisa terdeteksi, data dari pembacaan kedua sensor akan diproses pada mikrokontroler dan akan ditampilkan nilai dari hasil konversi data analog ke nilai ppm, pada saat sensor tidak mendeteksi adanya CO dan SO maka akan menampilkan nilai 0 pada LCD.

- Pembahasan

Dengan menggunakan filter udara yang dirancang ini maka senyawa CO dan SO hasil dari pembakaran batu bara pada boiler akan terionisasi oleh plat tembaga yang bermuatan negative dan kemudian akan menempel pada plat aluminium foil yang bermuatan positif. Setelah menempel pada plat aluminium foil partikel itu akan terlepas saat plat sudah tidak bermuatan lagi. Filter ini akan bekerja saat boiler mulai membakar batu bara dan mengeluarkan gas buang. Setelah melewati filter ini maka gas buang selanjutnya akan di monitoring kadar dari sulfur oksida dan karbon dioksidanya oleh rangkaian sensor gas MQ7 dan TGS2602. Sensor ini akan memberikan inputan analog kepada mikrokontroler yang kemudian akan ditampilkan pada LCD agar dapat dilihat nilai CO dan SO nya setiap saat. Setelah melewati sensor gas ini maka gas buang yang sudah di filter akan keluar dari cerobong dengan kandungan yang aman bagi masyarakat dan lingkungan.

## SIMPULAN

Perancangan Desain Filter udara ini dibuat dengan memanfaatkan eletrostatik karena dapat menangkap

partikel-partikel kecil dengan membuat partikel tersebut bermuatan, prinsip kerja dari filter ini adalah gas buang dari cyclone dilewatkan melalui pangkal cerobong yang berisi elektroda, yang terbuat dari tembaga dan aluminium foil. Elektroda-elektroda tersebut diberi arus listrik searah dengan muatan negatif. Dengan demikian, setiap butiran debu akan termuati oleh muatan negatif dengan tegangan tinggi sebesar 30-50 kV sebelum masuk ke dalam cerobong. Gas yang mengandung butiran debu bermuatan negatif ini bergerak dalam daerah yang terdiri dari pelat-pelat yang bermuatan positif. Maka debu-debu akan tertarik pada pelat-pelat tersebut. Dalam pembuatan simulasi rangkaian untuk mendeteksi kandungan dari asap maka diperlukan dua sensor gas yaitu tipe MQ-7 untuk deteksi CO (karbon Monoksida) dan tipe TGS 2602 untuk mendeteksi SO (sulfur dioksida). Kedua sensor itu berada di atas filter udara yang dipasang dengan tujuan agar dapat memonitoring nilai dari gas CO dan SO. Sensor MQ-7 dan TGS 2602 (data analog) dihubungkan dengan mikrokontroler yaitu Arduino uno R3 untuk diproses dan hasilnya ditampilkan pada LCD (Liquid Cristal Display)

## DAFTAR PUSTAKA

- Hasibuan, H. C., & Napitupulu, F. H. (2013). Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam. *E-Dinamis*, 4(4).
- Islam, J. H. (2013). TA: Rancang Bangun Alat Pendeteksi Gas CO, CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> Sebagai Informasi Pencemaran Udara. STIKOM Surabaya.
- Molek, N. H. T., Renelda, S. A., & Syaiful, S. (2020). Performa cyclone dan electrostatic precipitator sebagai penangkap debu pada pabrik semen. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(1), 22-26.
- Rahayu, R. D., Mufrodi, Z. A., & Saragi, H. (2018). Pengaruh Variasi Diameter Tabung Filter terhadap Penurunan Partikel pada Cerobong Asap Boiler. *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 5(1), 15-22.
- Satria, H., Kurniawan, A., & Tandian, D. M. (2020). Perancangan Alat Penyaringan Debu pada Boiler Batu Bara Skala Industri. *Jurnal Rekayasa Mesin, Elektro dan Teknologi Informasi*, 1(1), 38-43.
- Iskandar, F., & Suparman, S. (2017). Studi Penerapan Filter Sekam Bakar pada Boiler Batubara untuk Mengurangi Emisi Partikel. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Terapan*, 2(2), 80-87.
- Wang, J., Yu, M., & Bai, B. (2020). Research on the Design and Optimization of the Electrostatic Precipitator in a Coal-fired Power Plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 422(1), 012031.
- Chitnis, V. P., Deshpande, M. A., & Kumar, A. (2019). Design and Performance Analysis of Electrostatic Precipitator for Fly Ash Collection in Thermal Power Plants. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), 643-650.
- Chen, W., Yang, Z., & Ma, C. (2017). Design and Research of Flue Gas Dust Removal System in Coal-fired Power Plant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 292 (1), 012068.
- Gao, C., Wang, L., & Lu, S. (2018). Research on the Optimization Design of Cyclone Separator Applied in Coal-Fired Power Plant. *Applied Sciences*, 8(4), 523.