



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elecrtostatic Precipitator (ESP)

Electrostatic precipitator (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan *electrostatic precipitator* (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,16 % (efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84%), ukuran partikel debu terkecil yang diperoleh $<2 \mu\text{C}$. Alat pengendali debu yang berfungsi untuk memisahkan gas dan abu sebelum gas tersebut keluar dari cerobong (*stack*) salah satunya adalah *Electrostatic precipitator* (ESP). Sebelum gas buang tersebut Keluar melalui cerobong, maka gas buang tersebut akan melewati kisi-kisi suatu sistem *electrostatic precipitator* (ESP).



Gambar 2. 1 *Electrostatic precipitator* (ESP)



Teori dasar *Electrostatic Precipitator (ESP)*

Electrostatic Precipitator yang di pasang pada sistem cerobong asap digunakan untuk menangkap abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran yang ikut terbawa dalam asap yang berasal dari *boiler*. Teknik yang digunakan adalah dengan menjebak partikel halus menggunakan listrik bertegangan tinggi. Potensial tinggi adalah suatu keadaan dimana didaerah tersebut kaya dengan elektron, sedangkan potensial rendah adalah suatu keadaan dimana di daerah tersebut miskin dengan elektron. Hal ini sesuai dengan prinsip aliran listrik yaitu listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah (banyak proton sedikit elektron). Baterai memiliki dua kutub, yaitu kutub positif dan kutub negatif.

Kutub positif adalah kutub yang memiliki lebih sedikit elektron, sedangkan kutub negatif adalah kutub yang memiliki lebih banyak elektron. Saat baterai di pakai, proton mengalir menuju kutub yang memiliki jumlah elektron lebih sedikit sehingga akhirnya jumlah elektron yang ada di kedua kutub menjadi sama yang kemudian baterai di katakan habis. Sifat listrik di atas inilah yang kemudian digunakan sebagai ide awal pembuatan *electrostatic precipitator*.

Batubara yang dibakar akan menghasilkan burning carbon dioxide, sulphur dioxide dan nitrogen oxides. Gas-gas ini dikeluarkan dari *boiler*. Bottom ash atau abu yang lebih tebal atau berat dijatuhkan ke bawah *boiler* dan masuk ke silo untuk dibuang. *Fly ash* atau abu yang sangat ringan terbawa oleh gas panas di dalam *boiler*. *Fly ash* ini ditangkap oleh *electrostatic precipitator* sebelum gas buang terbang ke udara melalui cerobong asap (Stack). ESP berfungsi sebagai filter udara yang menyaring atau menangkap 99.72% *fly ash*.

2.1.1 Komponen pada *Electrostatic Precipitator (ESP)*

Adapun komponen dan fungsinya adalah sebagai berikut :

a. Casing

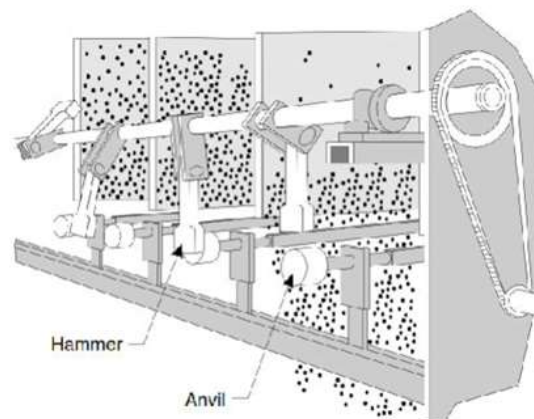
Casing dari ESP umumnya terbuat dari baja karbon berjenis ASTM A-36 atau yang mirip. *Casing* ini dirancang untuk kedap udara sehingga gas buang *boiler* yang ada di ESP tidak dapat bocor keluar. Selain itu ia dirancang memiliki ruang untuk pemuain karena operasional normalnya ESP bekerja



pada suhu cukup tinggi. Oleh karena itu pula sisi luar casing ini dipasang insulator tahan panas demi keselamatan kerja. *Discharge Elektroda* Dan mengumpulkan *Elektroda* didesain menggantung DENGAN Sisi dukungan (penyangga) berada PADA Sisi casing Bagian *differences*. Dan pada sisi samping casingDiperlukan akses masuk untuk keperluan perawatan sisi dalam ESP.

b. Rapper atau *rapping system*

Sistem *rapper* bekerja untuk menjatuhkan abu yang terkumpul pada permukaan CE atau DE agar jatuh ke hopper . Biasanya motor penggerak *rapper* terletak di bagian atas ESP, dan pindah ke bagian pemukul dengan poros yang terinsulasi untuk menghindari korsleting .

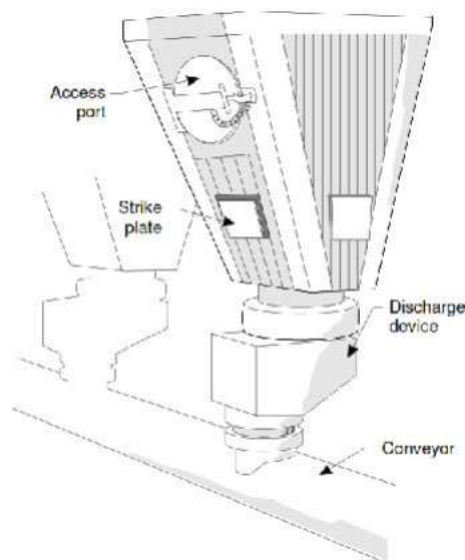


Gambar 2. 2 *Rapper*



c. Hopper

Hopper dibuat dari bahan yang sama dengan *casing*. Ia berbentuk seperti piramida yang terbalik dan terpasang pada sisi bawah ESP. *Hopper* digunakan sebagai tempat diskusinya abu terbang abu yang dijatuhkan dari mengumpulkan *Elektroda* dan *Elektroda* pelepasan. Abu hanya sementara berada di dalam *hopper*, karena selanjutnya ia akan dipindahkan menggunakan sistem transportasi khusus ke tempat penampungan yang lebih besar. Namun, *hopper* ini dirancang untuk menyimpan abu yang lebih lama yang dibutuhkan terjadi pada sistem transportasi *fly ash* yang ada di bawahnya.



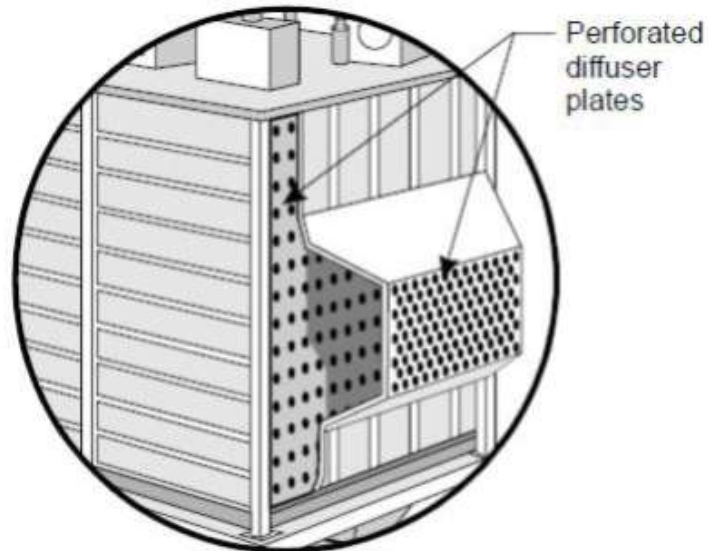
Gambar 2. 3 *hopper*

d. Gas Distribution System

Sistem Kontrol Aliran Gas Buang. Efisiensi ESP sangat bergantung pada distribusi aliran gas buang *boiler* yang melintasinya. Semakin besar pendistribusian gas buang tersebut ke seluruh kolom CE dan DE, maka akan semakin tinggi angka efisiensi ESP. Oleh karena itu dipasang sebuah sistem baling-baling atau sudu pada sisi masuk gas buang ke ESP agar gas tersebut



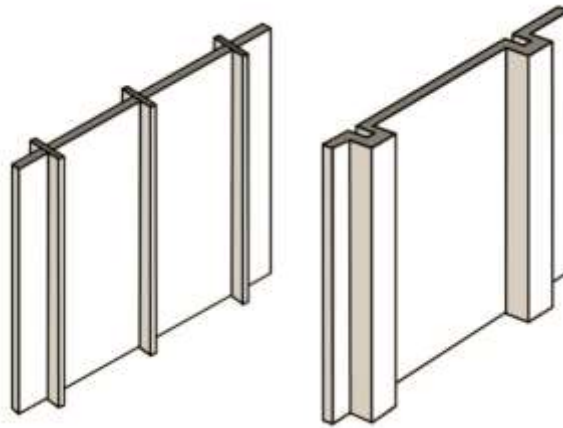
dapat lebih merata dialokasikan ke setiap kolom. *Ash Transmitter* berfungsi sebagai pemindah abu hasil tangkapan ESP (*Electrostatic precipitator*).



Gambar 2. 4 *Gas Distribution Device*

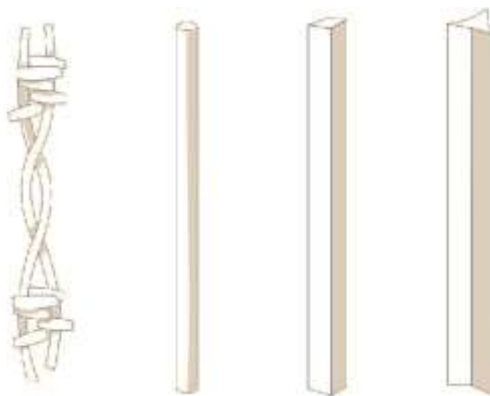
e. *Collecting Electrode*

Mengumpulkan *Elektroda* . CE menjadi tempat terkumpulnya abu bermuatan negatif sebelum jatuh ke hopper . Jarak antar CE pada ESP dirancang cukup dekat yaitu 305-406 mm dengan sisi kedua plat (depan-belakang) yang sama-sama di gunakan untuk mendapatkan abu. CE dibuat dari plat yang didukung dengan baja penyangga agar menjadi kaku. Ia dipasang dengan *support* yang ada di atas dan dipasang pada *casing* bagian atas. Untuk mendapatkan medan listrik yang seragam pada CE, serta untuk meminimalkan loncatan bunga api elektron, maka CE harus diinstal dengan ketelitian yang sangat tinggi.

Gambar 2. 5 *Collecting Electrode*

f. DisCharging Electrode

Elektroda Pelepasan . DE menjadi komponen paling penting di ESP. DE terhubung dengan sumber tegangan DC tinggi hingga menghasilkan korona listrik. Ia bekerja untuk membuat abu menjadi bermuatan negatif. DE diinstal pada setiap tengah-tengah CE dengan jarak 152-203 mm tergantung jarak antar CE yang digunakan. Untuk mencegah korsleting , pemasangan DE harus dipasang juga insulasi yang dipasang DE dengan casing dan CE yang bermuatan netral.

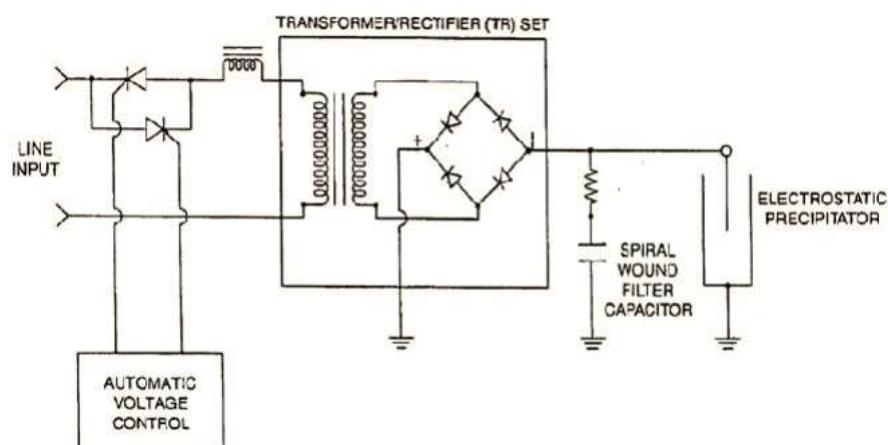
Gambar 2. 6 *DisCharging Electrode*



g. Sumber Energi Listrik .

Alat yang berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke sistem ESP disebut dengan transformer rectifier. Sumber energi listrik berasal dari listrik AC bertegangan 380 Volt, yang ditingkatkan menjadi 55.000 sampai 75.000 Volt sebelum diubah menjadi tegangan DC negatif yang akan dihubungkan dengan *discharge electrode*. Karena secara elektrik ESP merupakan beban kapasitif, maka sumber tegangannya didesain untuk menahan beban kapasitif tersebut. Selain itu, sumber tegangan ini didesain harus tahan terhadap gangguan arus yang terjadi akibat adanya loncatan listrik (*sparking*) dari abu *fly ash*.at yang bekerja untuk mensuplai energi listrik ke sistem ESP disebut dengan Transformer Rectifier (TR). Sumber energi listrik berasal dari listrik AC bertegangan 480 Volt, yang ditingkatkan menjadi 55.000 hingga 75.000 Volt sebelum diubah menjadi tegangan DC negatif yang akan diperbaiki dengan pelepasan *Elektroda*. Karena ESP merupakan beban kapasitif, maka sumber tegangannya dirancang untuk menahan beban kapasitif tersebut. Selain itu, sumber tegangan ini dirancang harus tahan terhadap gangguan arus yang terjadi akibat loncatan listrik (percikan) dari abu *fly ash*.

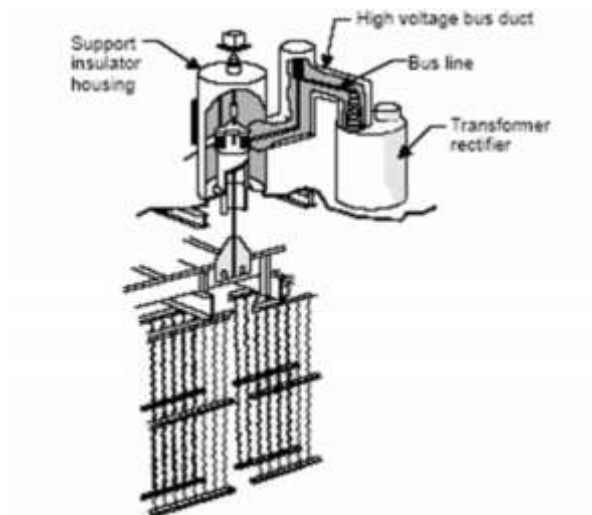
h. Support Insulator



Gambar 2. 7 Diagram Penyambungan *Rectifire*



Sebagai Pemegang plat-plat positif dan negatif dari precipitator dalam unit *Electrostatic precipitator*(ESP) maka digunakan Support Insulator. Fungsi lainnya adalah sebagai media penghambat (insulator) antara rangka (body) dari *Electrostatic precipitator*(ESP) dengan plat negatif. Support Insulator dilengkapi dengan pemanas (heater) dan thermostat. Tujuan support Insulator dilengkapi dengan heater adalah untuk menstabilkan temperatur insulator itu sendiri. Jika temperaturnya berubah-ubah maka permukaan insulator akan pecah atau rusak, jadi untuk mencegah hal demikian temperatur dijaga konstan yaitu sama dengan temperatur operasional pada *Electrostatic precipitator*(ESP).



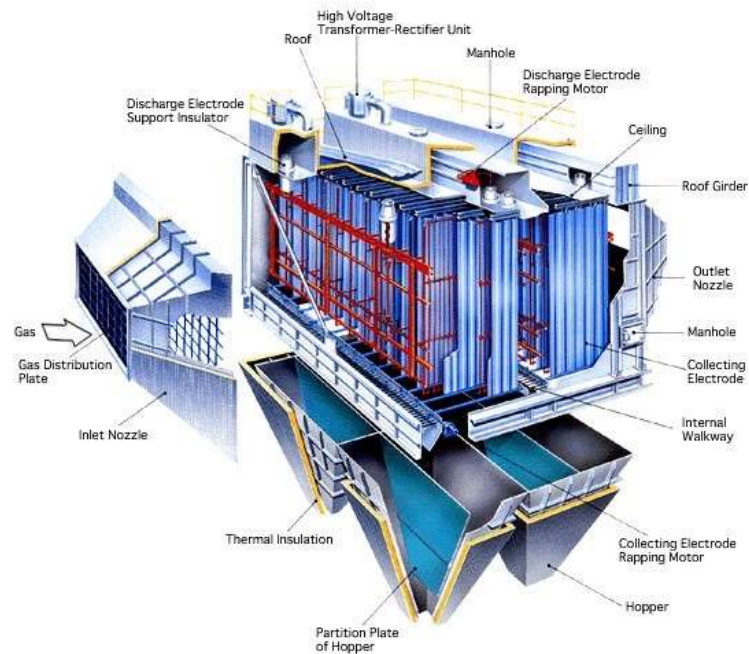
Gambar 2. 8 *Support Insulator*

i. Hammering device (HD)

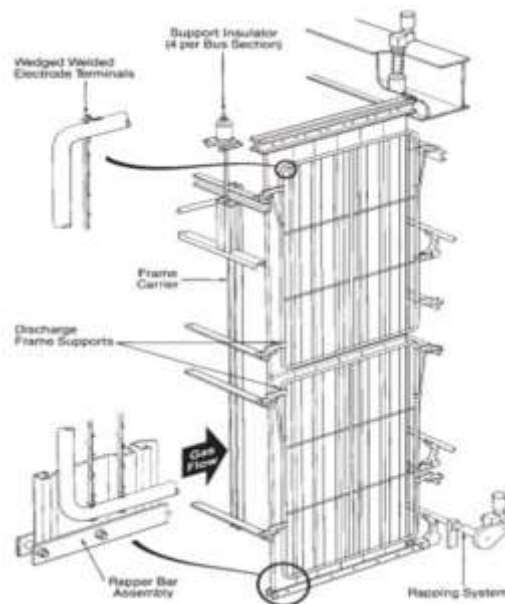
Hammering device adalah alat yang di gunakan untuk melepaskan debu atau partikel yang menempel pada *Collecting electrode*. Karena *discharge electrode* adalah *Elektroda* yang mendapat suplai energi listrik, maka pada daerah sekitar *discharge electrode* merupakan daerah dengan medan listrik terkuat. Semakin jauh dari *discharge electrode*, maka medan listrik negatif akan semakin lama. Di area antara *discharge electrode* dan *Collecting electrode* terbagi menjadi dua area yang mengalami kejadian



berbeda pula. Didaerah dekat dengan dimana pengaruh medan listrik negatif sangat besar, elektron bebas menabrak elektron molekul gas, sedangkan pada inter *electrode* region dimana pengaruh medan listrik negatif tidak terlalu besar, elektron bebas menempel pada molekul gas. *Discharge electrode* menghasilkan medan listrik negatif dimana medan listrik tersebut menghasilkan elektron dalam jumlah banyak di sekitar daerah *discharge electrode*. Setelah diketahui ternyata di daerah *discharge electrode* ada banyak elektron dan *Collecting electrode* yang di tanahkan maka sudah kodratnya lah, elektron yang berkeliaran pada *discharge electrode* akan menuju *Collecting electrode*. Elektron ini bergerak dengan kecepatan tinggi menuju *Collecting electrode*. Jika di petakan berdasarkan tingkat kecepatan, kecepatan elektron tertinggi berada pada daerah di sekitar *discharge electrode* dan semakin menurun kecepatannya apabila semakin jauh dari *discharge electrode*. Kodrat elektron yang menuju *Collecting electrode* inilah yang kemudian di manfaatkan untuk menangkap debu hasil pembakaran *boiler* yang di lewatkan melalui ESP. Debu yang di lewatkan ke dalam medan listrik tersebut akan menabrak elektron yang berkeliaran menyebabkan molekul gas kehilangan elektron dan menjadi molekul bermuatan positif saja. Begitu seterusnya sehingga semakin banyak elektron bebas. Karena satu elektron menabrak satu molekul gas dan menghasilkan dua elektron, begitu seterusnya. Proses multiplikasi elektron ini dinamakan *Avalance Multiplication*.



Gambar 2. 9 Bagian – bagian *Electrostatic precipitator* (ESP)



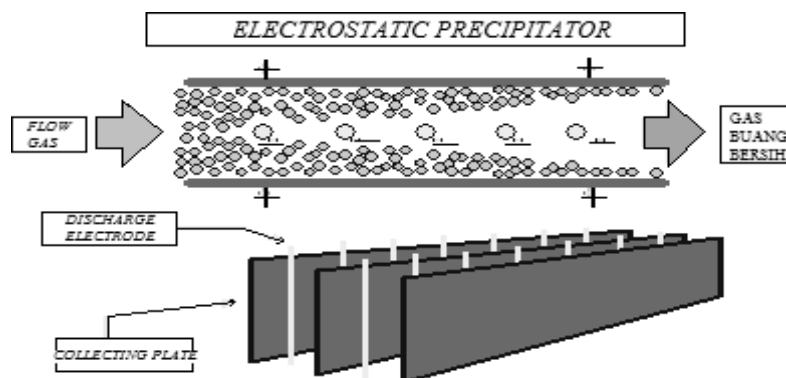
Gambar 2. 10 Bagian – bagian dalam *Electrostatic precipitator* (ESP)



2.2. Prinsip kerja Electrostatic Precipitator

2.2.1. Particle Charging (Pemberian muatan pada partikel)

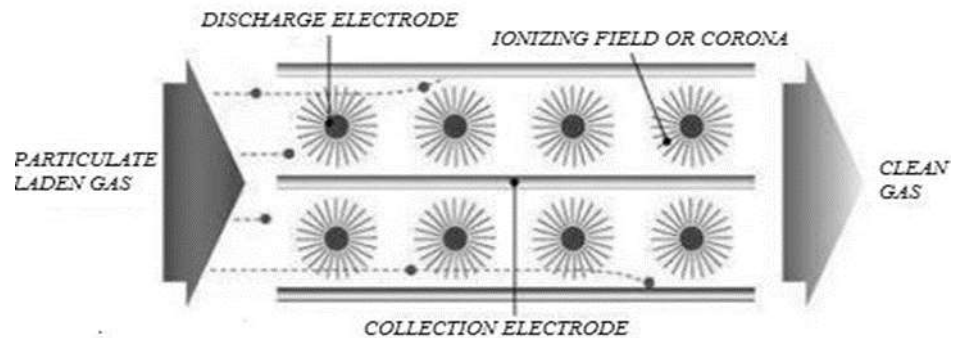
Di dalam *electrostatic precipitator*, muatan listrik ditempatkan pada sebuah perangkat kawat yang dinamakan *discharge electrode*. Partikel-partikel pada *fly ash* diberi muatan pada suatu medan listrik yang letaknya sangat dekat dengan *discharge electrode*. Medan listrik ini biasanya ditunjukkan dengan *corona discharge*. *Corona discharge* merupakan tempat penyediaan sumber ion unipolar yang bergerak ke arah *Collecting electrode*. Diantara *Collecting* dan *discharge electrode* terdapat ruang kosong yang kemudian diisi dengan sebuah *space charge* unipolar. Partikel-partikel abu yang ada pada *fly ash* melewati ruangan ini dan akan menyerap ion-ion yang ada sehingga akan bermuatan tinggi.



Gambar 2. 11 Proses Pemberian Muatan Pada Partikel

2.2.2. Particle Collecting (Pengumpulan partikel)

Medan listrik yang disebabkan oleh *space charge* menyebabkan partikel-partikel yang bermuatan negatif bergerak ke arah *Collecting electrode*, sedangkan partikel-partikel abunya diserap oleh *discharge electrode*.



Gambar 2. 12 Proses Pengumpulan Partikel

2.2.3. *Transporting of Collected Materials* (Pengangkutan material yang terkumpul).

Collecting dan *discharge electrode* akan dipenuhi dengan partikel-partikel setelah beberapa waktu tertentu. Untuk menghilangkan partikel-partikel tersebut digunakan alat pengetuk abu yang dinamakan *rapper*. Pada saat beroperasi, *rapper* akan menggetarkan kedua *Elektroda* ini sehingga partikel yang melekat pada kedua *Elektroda* akan jatuh pada bagian bawah *electrostatic precipitator* atau disebut dengan hopper. Dari hopper, abu tersebut akan dihisap dengan vacuum blower menuju ke silo abu. *Rapper* tidak melakukan pemukulan partikel secara bersamaan tetapi bergantian sesuai dengan timing yang telah diatur. Gas asap yang berasal dari pembakaran di *boiler* yang kemudian masuk ke *electrostatic precipitator* akan keluar dalam kondisi bebas dari abu tetapi tidak bebas dari sulfur.

2.3 Proses Yang Terjadi Pada *Electrostatic precipitator* (ESP)

2.3.1. Charging

Charging merupakan suatu proses pemberian muatan kepada abu yang melewati ESP. ESP menggunakan listrik DC sebagai sumber dayanya, dimana *Collecting electrode* terhubung dengan kutub positif dan ditanahkan, sedangkan untuk *discharge electrode* terhubung dengan kutub negatif yang bertegangan 55-75 kilovolt DC. Medan listrik terbentuk diantara *discharge*



electrode dan *Collecting electrode*, pada kondisi ini timbul fenomena korona listrik yang berpendar pada sisi *discharge electrode*. Pada saat gas buang batubara melewati medan listrik ini, *fly ash* akan terkena muatan negatif yang dipancarkan oleh kutub negatif pada *discharge electrode*. Proses pemberian muatan negatif pada abu tersebut dapat terjadi secara difusi atau induksi, tergantung dari ukuran abu tersebut. Beberapa partikel abu akan sulit dikenai muatan negatif sehingga membutuhkan medan listrik yang lebih besar. Ada pula partikel yang sangat mudah dikenai muatan negatif, namun muatan negatifnya juga mudah terlepas, sehingga memerlukan proses *Charging* kembali.

2.3.2. Pengumpulan Abu Yang Melewati *Electrostatic precipitator* (ESP)

Abu yang sudah bermuatan negatif, akan tertarik untuk menuju ke *Collecting electrode* atau bergerak menurut aliran gas yang ada. Kecepatan aliran gas buang mempengaruhi proses pengumpulan abu pada *Collecting electrode*. Kecepatan aliran gas yang rendah akan memperlambat gerakan abu untuk menuju *Collecting electrode*. Sehingga umumnya desain ESP biasanya digunakan beberapa seri *Collecting electrode* dan *discharge electrode* yang diatur sedemikian rupa sehingga semua abu yang terkandung di dalam gas buang *boiler* dapat tertangkap.

2.3.3. Rapping / *Rapper*

Rapping adalah proses perontokan abu yang lengket pada *electrode-electrode* ESP. Lapisan abu yang terkumpul pada permukaan *Collecting electrode* harus secara periodik dirontokan. Pada PLTU ombilin metode yang digunakan adalah dengan cara memukul bagian *Collecting electrode* dengan sebuah sistem mekanis. Sistem *rapping* mekanis ini terdiri dari sebuah hammer, motor penggerak, serta sistem gearbox sederhana yang dapat mengatur gerakan memukul agar terjadi secara periodik. Sistem *rapping* tidak hanya terpasang pada sisi *Collecting electrode*, pada *discharge electrode* juga terdapat sistem *rapping*. Hal ini karena ada sebagian kecil dari abu yang akan bermuatan positif karena terisi oleh *Collecting electrode* yang bermuatan



positif. Abu yang rontok dari *Collecting electrode* akan jatuh dan terkumpul di hopper yang terletak di bawah sistem *Collecting electrode* dan *discharge electrode*. Hopper ini harus didesain dengan baik agar abu yang sudah terkumpul tidak masuk kembali ke dalam kompartemen ESP. Selanjutnya dengan menggunakan tekanan, kumpulan abu tersebut dipindahkan melewati pipa-pipa ke tempat penampungan yang lebih besar.

2.4. Tegangan Tinggi

Yang disebut tegangan tinggi dalam dunia teknik tenaga listrik adalah semua tegangan yang dianggap cukup tinggi oleh para teknisi listrik. Batas yang ditentukan sebagai tegangan tinggi setiap negara berbeda beda. Pada negara yang sudah maju tegangan tinggi dianggap dimulai dari 20 - 30 kilovolt.

Pada saat ini tegangan tinggi maksimum yang diketahui terdapat di Uni Soviet yaitu dengan tegangan searah 800 kilovolt. Bentuk tegangan yang diterapkan pada sistem peralatan tenaga listrik adalah arus bolak-balik dan arus searah.

2.4.1. Tegangan Tinggi Searah

Penyaluran dengan tegangan searah mempunyai keuntungan sebagai berikut :

- a. Pengisolasian tegangan searah lebih sederhana.
- b. Efisiensi lebih tinggi karena faktor daya = 1.
- c. Untuk rugi korona yang sama dan tingkat gangguan radio tertentu tegangan searah dapat dinaikan lebih tinggi dari pada tegangan bolak-balik.
- d. Lebih rendahnya biaya saluran udara dan biaya kabel bawah tanah.
- e. Pada sistem tegangan searah tidak ada masalah arus pemuatan yang berat.



Bedanya penyaluran tegangan searah dengan tegangan bolak-balik adalah bahwa penyaluran dengan tegangan searah, tegangan bolak-balik tiga fasa yang dibangkitkan sesudah ditransformasikan disearahkan terlebih dahulu. Kemudian setelah tenaga listrik searah disalurkan, tegangannya diubah kembali ke tegangan bolak-balik. Oleh sebab itu, kunci dari penyaluran searah terletak pada peralatan- peralatan penyearah dan pengubah tegangan bolak-balik.

2.5 Korona

Ketika suatu potensial listrik diletakkan pada dua plat sejajar maka akan terbentuk suatu medan listrik yang seragam. Ketika medan listrik tersebut berada pada titik kritisnya sekitar 3MVm^{-1} , maka akan terjadi lompatan listrik menyerupai kilat antara kedua plat dan juga dapat menghasilkan suara sehingga dapat dirasakan melalui penglihatan dan pendengaran.

Bagaimanapun medan listrik tidaklah selalu seragam, bisa saja terbentuk akibat dari potensial dari kabel ke suatu plat atau suatu silinder. Hal ini dapat menyebabkan sesuatu berpijar yang disebut sebagai korona, tanpa adanya kilatan. Korona yang dihasilkan dari listrik AC berbeda dengan listrik DC.

Karena pada listrik AC potensial pada suatu titik akan berganti-ganti dari positif ke negatif dan berulang seterusnya. Pada listrik DC makan potensial pada suatu titik tersebut akan tetap sehingga menghasilkan korona potensial positif dan korona potensial negatif.

Jika dikaitkan dengan proses pemuatan partikel. Korona AC akan menghasilkan gerak osilasi saat memuati partikel. Korona DC akan menyebabkan partikel termuati bergerak menuju *Elektroda* kolektor. Berikut mekanisme pembentukan korona negatif. Pembentukan korona dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah korona dan kedua daerah pasif.

Daerah korona adalah suatu daerah yang sangat tipis mengelilingi titik potensialnya. *Elektroda* disCharging akan melepaskan elektron yang disebut longSORan elektron (elektron avalanche) sehingga pada daerah ini suatu elektron



mengalami kecepatan yang sangat tinggi, dan ketika elektron tersebut menumbuk suatu molekul gas, elektron tersebut akan mengeluarkan elektron dari molekul.

Gas berion positif ini akan bergerak menuju katoda yang bersifat netral. Elektron-elektron yang baru terbentuk bergerak dan mengionisasi molekul-molekul gas lainnya atau bergerak menuju anoda. Daerah korona dibatasi dengan medan listrik yang semakin melemah dimana elektron tidak sanggup lagi untuk mengionisasi molekul gas netral.

Ketika ada partikel yang melewati daerah ini maka partikel cenderung termuati secara positif dikarenakannya banyak gas yang berion positif dan mobilitas elektron yang tinggi. (Strauss, 1975) Daerah pasif adalah dimana daerah yang berda diluar daerah korona, dimana elektron tidak sanggup lagi mengionisasi molekul gas netral. Elektron-elektron yang berada daerah ini akan menempelkan dirinya ke molekul gas melewati proses yang disebut transfer elektron.

Pada *Electrostatic precipitator* jumlah molekul per unit volumenya jauh lebih besar dibandingkan partikel debu yang dibawa. Sehingga elektron jauh lebih banyak menempel pada molekul gas dan menyebabkan banyaknya produksi ion negatif dibandingkan elektron yang menempel pada partikel debu. Pada perjalannya ion-ion negatif bertemu dengan partikel debu dan memberikan muatan negatifnya ke partikel, hal ini disebut transfer muatan. (Heinsohn and Kabel, 1999)

Proses Terjadi Korona

Korona terjadi bila terdapat dua kawat sejajar yang penampangnya kecil diberi tegangan bolak-balik, maka korona dapat terjadi. Karena adanya ionisasi dalam udara, yaitu adanya kehilangan elektron dari molekul udara. Oleh karena lepasnya elektron dan ion, maka apabila sekitarnya terdapat medan listrik, maka elektron-elektron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya, sehingga terjadilah tabrakan dengan molekul lain. Akibatnya adalah timbulnya ion-ion dan elektron-elektron baru. Proses ini berjalan terus-menerus dan jumlah elektron dan ion bebas menjadi berlipat ganda bila gradient tegangan cukup besar, peristiwa ini disebut korona.



Tegangan korona merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan kuat medan korona. Pada alat ini, apabila tegangan korona semakin besar maka kemampuan alat untuk menangkap polusi udara akan semakin baik. Jadi, tegangan korona sangatlah dibutuhkan dalam proses kerja alat. Tegangan korona ini dapat dihitung dengan :

$$V_c = E_c \times r \times \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Dimana :

V_c : tegangan korona (V)

E_c : kuat medan korona (V/m)

r : jari-jari korona (m) ($R_1 + 0.02\sqrt{R_1}$)

r_1 : jari-jari kawat (m)

r_2 : jarak antar kawat dengan plat (m)

2.6 Electrostatic

Dimisalkan suatu benda seperti sisir dapat menarik suatu benda seperti potongan-potongan kertas. Hal itu terjadi dikarenakan sebelumnya sisir telah digosokkan ke rambut, kain wol, atau sutra. Sisir telah diberikan sejumlah muatan listrik yang tertentu banyaknya oleh benda-benda tersebut.

Ada dua jenis muatan listrik yakni listrik positif dan muatan listrik negatif. Muatan listrik yang digosokkan (dimasukkan) ke bahan-bahan isolator tersebut disebutkan sebagai listrik positif dan muatan listrik ini tidak bergerak kemana-mana tetapi akan tetap diam ditempat dimana digosokkan sebelumnya. Karena itu muatan listrik tersebut dinamakan muatan listrik elektro statis (statis = diam di suatu tempat). Sedangkan potongan kertas disebut sebagai muatan listrik negatif. Sifat dari muatan listrik ini adalah sebagai berikut :



- a. Oleh suatu sentuhan mereka akan dapat pindah kembali.
- b. Muatan listrik sejenis akan saling tolak-menolak dan muatan listrik yang tidak sama akan saling tarik-menarik.

Agar elektron itu tidak hilang meninggalkan bahannya untuk bergerak berpindah ke bahan lainnya, maka perlulah bahan itu diisolir dari bahan yang lainnya disekitarnya.

Seseorang dapat menjadi bermuatan ketika berjalan di atas lantai berkarpet. Gesekan antara sol plastik sepatu orang tersebut dengan karpet (yang seringkali terbuat dari bahan nilon) menghasilkan muatan pada orang. Dalam keadaan lingkungan yang sangat kering, muatan pada orang tersebut dapat menjadi sangat besar. Orang yang bersangkutan dapat merasakan sensasi yang menggelitik, mendengar bunyi-bunyi letupan kecil atau bahkan melihat sepercik api, ketika ia menyentuh sebuah objek logam yang ditanahkan, seperti misalnya sebuah pegangan pintu.

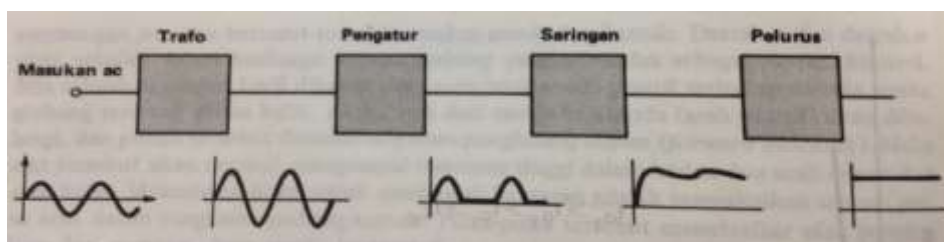
Demikian pula, sekedar duduk dan bekerja didepan meja dapat membangkitkan muatan listrik pada tubuh seseorang karena pakaian-pakaian dari bahan wol, nilon atau polister yang dikarenakan orang tersebut saling bergesekan satu sama lainnya. Para insinyur elektronik harus sangat berhati-hati dan menghindari hal ini, karena muatan-muatan yang mereka bawa ditubuh mereka dapat merusak komponen-komponen elektronik yang sangat halus ketika mereka menyentuhnya.

2.7 Pengubahan AC ke DC

Arus bolak-balik berfrekuensi tetap dan beramplitudo tetap adalah sumber utama tenaga listrik. (Di Amerika Serikat , arus bolak-balik tersebut adalah sinusoida 60 Hz, 110/220 V rms; dibanyak bagian Eropa maka yang tersedia adalah sinusoida 50 Hz, 220 V rms). Sebagian terbesar rangkaian elektronik memerlukan tegangan konstan untuk memastikan operasi yang sesuai. Misalnya, banyak komputer mini memerlukan sumber 5 V yang mampu menyediakan arus



sebesar 100 A. Sistem pengolahan sinyal lain seringkali memerlukan tegangan 12 V dan tegangan 15 V dalam mana arus yang dihasilkan berubah-ubah dengan kondisi-kondisi beban. Tambahan lagi, banyak gerak motor yang dijelaskan kelak dalam hal ini memerlukan tegangan DC yang tingkat tegangannya dapat diatur untuk memenuhi kondisi-kondisi pengoperasian yang diinginkan. Pelurus yang dibahas dalam bagian terdahulu akan membentuk dasar untuk pengubahan ac ke dc yang perlu.



Gambar 2. 13 Diagram Blok Dari Bekal Daya

Diagram blok untuk bekal daya DC yang didapatkan dari sumber ac yang utama digambarkan dalam gambar diatas. Dengan mengecualikan pelurus tersebut, maka apakah fungsi-fungsi rangkaian yang selebihnya akan digunakan akan gantung pemakaian. Seperti yang ditunjukkan oleh bentuk-bentuk gelombang dalam gambar diatas. Maka fungsi-fungsi dari berbagai rangkaian diatas adalah:

- a. trafo : mengatur tingkat dc sehingga dicapai amplitude dc yang sesuai.
- b. pelurus : mengubah tegangan sinusoida menjadi sebuah sinyal dc yang berpulsa.
- c. saringan : “melicinkan” bentuk gelombang dengan mengeliminasi komponen-komponen ac dari keluaran pelurus.
- d. pengatur : mempertahankan sebuah tingkat tegangan yang konstan yang tak tergantung dari kondisi beban atau variasi amplitude dari bekal ac tersebut.

2.8 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih atau tercemarnya kualitas udara dan bagaimana dampaknya terhadap kesehatan setelah menghirup udara



tersebut selama beberapa jam/hari/bulan. Penetapan ISPU ini mempertimbangkan tingkat mutu udara terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, bangunan dan nilai estetika. ISPU dalam hal ini dilambang dalam satuan PPM (Part Per Milion).

PPM adalah sebuah satuan untuk konsentrasi larutan di mana konsentrasi partikel yang dimaksud sangat kecil dibandingkan dengan partikel yang menjadi pelarutnya. 1 PPM adalah konsentrasi di mana ada 1 partikel di dalam setiap 1 juta partikel pelarut. Ini dapat dibandingkan dengan 1 tetes tinta dalam 150 liter air, atau 1 detik dalam 280 jam. Berikut adalah tabel ISPU dan dampaknya bagi kesehatan:

ISPU (PPM)	Tingkat Pencemaran Udara	Dampak Kesehatan
0 – 50	Baik	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
51 – 100	Sedang	Kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitive dan nilai estetika
101 – 199	Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitive atau bias menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
200 – 299	Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar



300 - 500	Berbahaya	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi
-----------	-----------	---

Tabel 2. 1 Indeks Standar Pencemaran Udara

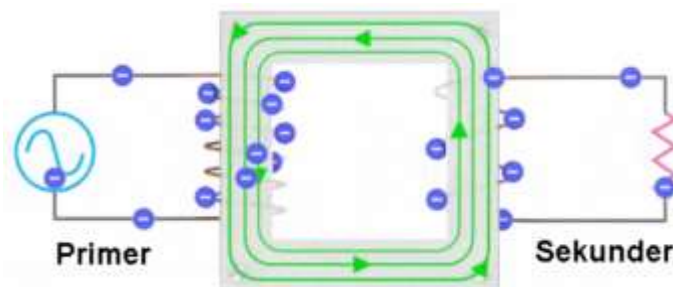
2.9. Transformator Step Up

Transformator step up atau trafo step up adalah jenis trafo yang memiliki lilitan yang lebih banyak pada kumparan sekunder atau outputnya. Trafo jenis ini dapat menghasilkan tegangan listrik dengan taraf yang lebih tinggi pada terminal outputnya dibandingkan taraf tegangan listrik yang masuk ke trafo. Oleh karena itu, transformator ini disebut juga dengan trafo penaik tegangan. Pada trafo ini meskipun tegangannya naik tetapi daya listrik dan frekuensinya tetap sama.

Perinsip Kerja Tranformator Step Up

Prinsip kerja yang digunakan oleh transformator step up ini adalah bekerja dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik sesuai hukum lorentz dan faraday.

Prinsip kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnet yang terjadi ketika lilitan primer diberikan tegangan AC (bolak-balik). Kemudian akan menimbulkan fluks magnet pada inti trafo yang juga menginduksikan gaya gerak listrik / GGL pada lilitan sekundernya, idealnya daya yang diberikan ke coil primer akan sepenuhnya diteruskan ke coil sekunder.



Gambar 2. 14 Lilitan Tranformator Step Up



2.10 Rectifier

Adalah perangkat listrik yang mengubah arus bolak-balik (AC), yang secara berkala membalikkan arah, menjadi arus searah (DC), yang mengalir hanya dalam satu arah. Proses mengubah arus AC menjadi arus DC yang dikenal sebagai Rectification. Penyearah dapat mengambil beberapa bentuk fisik seperti dioda solid-state, dioda tabung vakum, katup busur merkuri, penyearah yang dikendalikan silikon, dan berbagai keunggulan berbasis silikon lainnya. Pada umumnya, rangkaian penyearah ini menggunakan komponen utama yaitu Dioda . Ini karena karakteristik dari dioda yang hanya melewatkan arus listrik menuju ke satu arah saja. Selain itu, dioda ini juga akan menghambat arus listrik yang datang dari arah sebaliknya.

2.10.1. Fungsi Rectifier

Fungsi *rectifier* yang utama adalah untuk mengubah arus/ tegangan bolak balik (AC) menjadi arus/tegangan searah (DC). Selain itu fungsi atau kegunaannya masih sangatlah banyak. Bisa dikatakan berfungsi pada hampir seluruh peralatan elektronik, utamanya yang membutuhkan arus DC yang bersumber selain dari baterai.

Meskipun mekanisme ini berjalan secara bersamaan, kombinasi kedua hal ini secara teori masih belum dikembangkan.

Kedua mekanisme ini biasanya dirumuskan secara terpisah dikarenakan errornya yang tidak terlalu besar. Field *Charging* sangat penting untuk menangkap partikel dengan ukuran lebih besar dari 1 μm , sedangkan diffusion lebih penting untuk partikel kurang dari 0.2 μm . Field *Charging* memiliki arah sesuai dengan medan listrik pada ESP tersebut, sehingga lebarnya permukaan dan juga besarnya potensial listrik yang diberikan menjadi faktor utama dalam mekanisme ini.



Diffusion *Charging* sangat tergantung dengan jumlah ion-ion yang dihasilkan, mobilitas dari ion tersebut, dan juga karena pergerakan thermal maka temperatur sangat berpengaruh pada mekanisme ini. (Strauss, 1975) Pada field *Charging* pemuatan permukaan maksimum yang dapat terpenuhi dengan menganggap partikel berbentuk bola dan medan listrik yang terjadi tidak terganggu sama sekali. Pemuatan permukaan maksimum pada mekanisme field *Charging* dapat dinyatakan sebagai berikut $q_{maximum} = 4\pi KOPa 2E0$ (1) Sedangkan pada diffusion *Charging* dapat dianalisa berdasarkan teori kinetik gas berdasarkan densitas gas pada suatu medan potensial. Berdasarkan jumlah ion yang menumbuk partikel perdetiknya. sehingga didapatkan pemuatan permukaan partikelnya sebagai berikut. (Wang dkk, 2004)