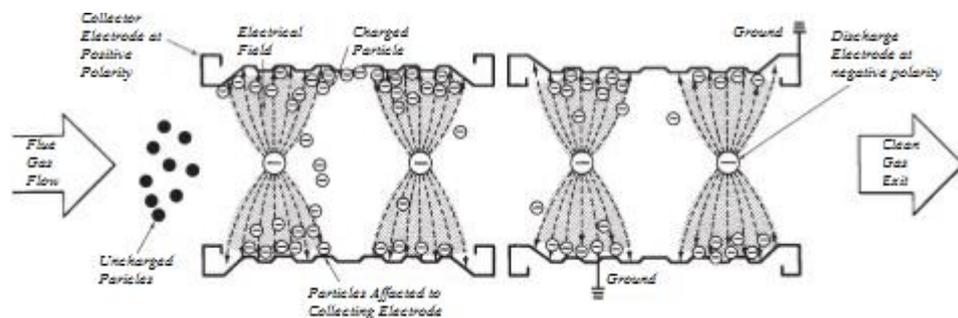


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian *Electrostatic Precipitator* (ESP)

*Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah sebuah teknologi untuk menangkap abu hasil proses pembakaran dengan jalan memberi muatan listrik padanya. Prinsip kerja ESP yaitu dengan memberi muatan negatif kepada abu-abu tersebut melalui beberapa elektroda (biasa disebut *discharge electrode*). Jika abu tersebut dilewatkan lebih lanjut ke dalam sebuah kolom yang terbuat dari plat yang memiliki muatan lebih positif (biasa disebut *collecting electrode*), maka secara alami abu tersebut akan tertarik oleh plat-plat tersebut. Setelah abu terakumulasi pada plat tersebut, sebuah sistem *rapper* khusus akan membuat abu tersebut jatuh ke bawah dan keluar dari sistem ESP.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem ESP

Sumber : <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/04/electrostatic-precipitator.html>

#### 2.2 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 99.4% *fly ash*.

*Electrostatic Precipitator* (ESP) bertugas sebagai penangkap debu halus yang berada di saluran buang hasil pembakaran batubara. ESP terdiri dari beberapa sirip elektroda positif dan negatif yang diberi sumber tegangan DC maksimal 90 kV DC dengan arusnya 500 mA. Dengan dialiri listrik pada sirip-sirip elektrodanya maka akan terjadi korona yang memberikan muatan negatif pada abu. Secara sederhananya dapat dikatakan abu yang memiliki ion negatif akan ditarik dan menempel di plat bermuatan positif. Abu yang menempel pada elektroda-elektroda secara berkala akan dijatuhkan dengan digetarkan oleh *vibrator* yang terdapat dalam ruang ESP tersebut. Abu yang telah dijatuhkan akan ditampung dalam *hopper* dan akan di pindahkan ke tempat penampungan yang lebih besar melewati pipa-pipa dengan cara di beri tekanan. Selanjutnya abu akan di di buang ketempat pembuangan abu menggunakan truk pengangkut.

## **2.3 Bagian – Bagian Dari *Electrostatic precipitator* (ESP)**

### **2.3.1 *Casing***

*Casing* dari ESP umumnya terbuat dari baja karbon berjenis ASTM A-36 atau yang serupa. *Casing* ini didesain untuk kedap udara sehingga gas buang *boiler* yang berada di dalam ESP tidak dapat bocor keluar. Selain itu ia didesain memiliki ruang untuk pemuaian karena pada operasional normalnya ESP bekerja pada temperatur cukup tinggi. Oleh karena itu pula sisi luar *casing* ini dipasang



insulator tahan panas demi keselamatan kerja. *Discharge electrode* dan *collecting electrode* didesain menggantung dengan sisi *support* (penyangga) berada pada sisi *casing* bagian atas dan pada sisi samping *casing* terdapat pintu akses masuk untuk keperluan perawatan sisi dalam ESP.

### **2.3.2 Hopper**

*Hopper* terbuat dari bahan yang sama dengan *casing*. *Hopper* berbentuk seperti piramida yang terbalik dan terpasang pada sisi bawah ESP. *Hopper* berfungsi sebagai tempat berkumpulnya abu *fly ash* yang dijatuhkan dari *collecting electrode* dan *discharge electrode*. Abu hanya sementara berada di dalam *hopper*, karena selanjutnya abu akan dipindahkan menggunakan sebuah sistem *transport* khusus ke tempat penampungan yang lebih besar. Namun, *hopper* ini didesain untuk mampu menyimpan abu sedikit lebih lama apabila terjadi kerusakan pada sistem *transport fly ash* yang ada di bawahnya.

### **2.3.3 Collection Electrode (CE)**

*Collecting Electrode* menjadi tempat terkumpulnya abu bermuatan negatif sebelum jatuh ke *hopper*. Jarak antar CE pada sebuah ESP didesain cukup dekat yakni 305-400 mm dengan kedua sisi plat (depan belakang) yang sama-sama berfungsi untuk menangkap abu. CE dibuat dari plat yang didukung dengan baja penyangga untuk menjaga kekakuannya. CE dipasang dengan *support* yang berada di atas dan menggantung pada *casing* bagian atas. Untuk mendapatkan medan listrik yang seragam pada CE, serta untuk meminimalisir terjadinya loncatan bunga api elektron, maka CE harus dipasang dengan ketelitian yang sangat tinggi.

### **2.3.4 Discharge Electrode (DE)**

*Discharge Electrode* terhubung dengan sumber tegangan DC tinggi hingga berperan menciptakan korona listrik. DE berfungsi untuk mengisi abu sehingga abu menjadi bermuatan negatif. DE dipasang pada tiap tengah-tengah CE dengan jarak 152-203 mm tergantung jarak antar CE yang digunakan. Untuk mencegah *short circuit*, pemasangan DE harus dipasang juga insulasi yang memisahkan DE dengan *casing* dan CE yang bermuatan netral.



### 2.3.5 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*.

### 2.3.6 Hammering device (HD)

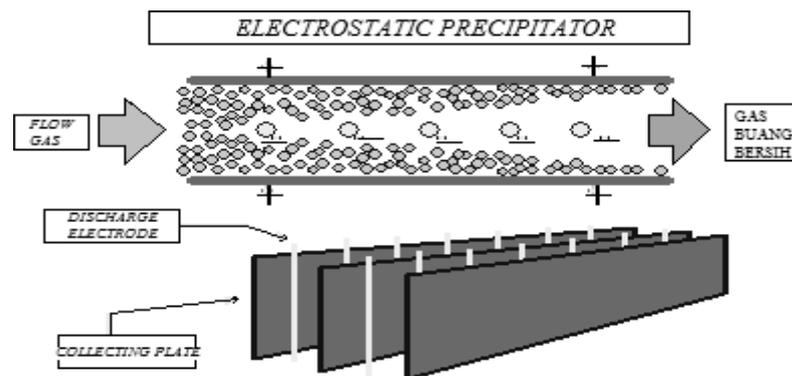
*Hammering device* adalah alat yang di gunakan untuk melepaskan debu atau partikel yang menempel pada *collecting electrode*. Karena *discharge electrode* adalah elektroda yang mendapat suplai energi listrik, maka pada daerah sekitar *discharge electrode* merupakan daerah dengan medan listrik terkuat. 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 dimanfaatkan untuk menangkap debu hasil pembakaran *boiler* yang di lewatkan melalui ESP. Debu yang di lewatkan ke dalam medan listrik tersebut akan menabrak elektron yang

berkeliruan 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 *Avalanche Multiplication*.<sup>13</sup>

## 2.4 Prinsip Kerja *Electrostatic Precipitator* (ESP)

### 2.4.1 *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.



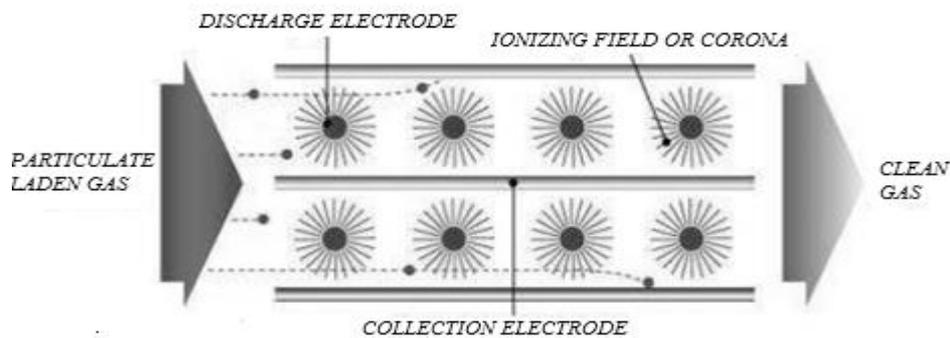
Gambar 2.2 Proses Pemberian Muatan Pada Partikel

Sumber : [www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/](http://www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/)

### 2.4.2 *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*.

<sup>13</sup> <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/04/electrostatic-precipitator.html>



Gambar 2.3 Proses Pengumpulan Partikel

Sumber : [www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/](http://www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/)

#### 2.4.3 *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*.

### 2.5 Proses Yang Terjadi Pada *Electrostatic Precipitator* (ESP)

#### 2.5.1 *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.

### **2.5.2 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.

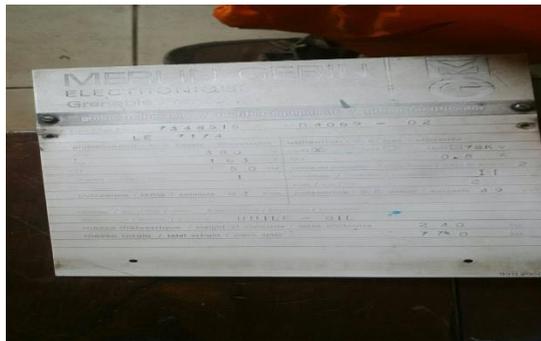
### **2.5.3 *Rapping / Rapper***

*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 *rapper* mekanis ini terdiri dari sebuah *hammer*, motor penggerak, serta sistem *gearbox* sederhana yang dapat mengatur gerakan memukul agar terjadi secara periodik. Sistem *rapper* tidak hanya terpasang pada sisi *collecting electrode*, pada *discharge electrode* juga terdapat sistem *rapper*. 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.<sup>15</sup>

## 2.6 *Electrostatic Precipitator* Pada PLTU Bukit Asam

Spesifikasi *electrostatic precipitator* di PLTU Bukit Asam adalah dengan besar tegangan tinggi dc sebesar 78 kV dengan arus 0.8 A, serta memiliki 4 tahap dalam pemfilteran polusi udara sehingga hasil akhirnya akan menghasilkan tingkat efisiensi alat sebesar 99%.



Gambar 2.4 Name Plate *Electrostatic Precipitator* PLTU Bukit Asam

Sumber : Jurnal Sistem *Electrostatic Precipitator* di PLTU Bukit Asam<sup>3</sup>

## 2.7 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.

### 2.7.1 Tegangan Tinggi Searah

Penyaluran dengan tegangan searah mempunyai keuntungan sebagai berikut :

- a. Pengisolasian tegangan searah lebih sederhana.

<sup>15</sup> [www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/](http://www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/)

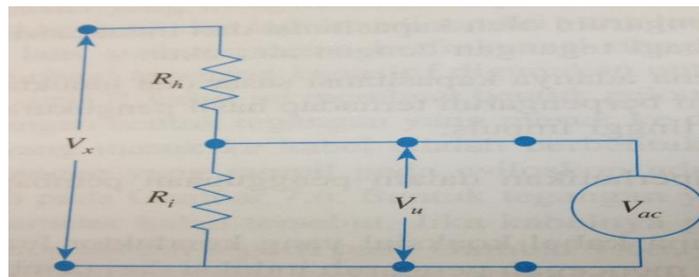
<sup>3</sup> Marhsel Eko dkk, *Sistem Electrostatic Precipitator di PLTU Bukit Asam*, Politeknik Negeri Sriwijaya

- 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.

## 2.8 Pembagi Tegangan Resistif

Pembagi tegangan ini digunakan untuk pengukuran tegangan tinggi dc, tegangan tinggi impuls, dan tegangan tinggi ac. Pembagi tegangan ini terdiri atas dua resistor yang terhubung seri, yaitu resistor tegangan tinggi  $R_h$  dan resistor tegangan rendah  $R_i$ .



Gambar 2.5 Rangkaian Pembagi Tegangan Resistif

Sumber : Buku Peralatan Tegangan Tinggi. Halaman 34

Sehingga untuk mengukur suatu tegangan tinggi bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$V_u = \frac{R_i}{R_h + R_i} V_x \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

$V_u$  = Tegangan rendah (V)

$V_x$  = Tegangan tinggi (V)



$R_l$  = Resistor tegangan rendah ( $\Omega$ )

$R_h$  = Resistor tegangan tinggi ( $\Omega$ )<sup>11</sup>

## 2.9 Proses Terjadinya 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.<sup>1</sup>

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 :

$$V_c = E_c \times r \times \ln \frac{r_2}{r_1} \dots \dots \dots 2.2$$

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)<sup>6</sup>

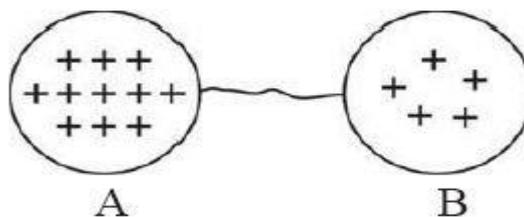
<sup>11</sup> Bonggas Tobing. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Erlangga. Jakarta. 2012. Halaman 34

<sup>1</sup> Artono Arismunandar. *Teknik Tegangan Tinggi*. Prehalindo. Jakarta. 2001. Halaman 1, 8-9, 150

<sup>6</sup> Monika R, *Gambaran Kualitas Udara dan Keluhan Gangguan Pernapasan Pada Masyarakat di Kawasan Industri*, Universitas Sumatera Utara, Hlm. 15

## 2.10 Arus Searah

Setiap benda terdiri dari partikel yang amat kecil yang disebut atom. Atom-atom itu sendiri terdiri dari partikel yang lebih kecil yaitu elektron yang mengelilingi atom yang terdiri dari proton dan neutron. Elektron bermuatan negatif, proton bermuatan positif dan neutron tidak bermuatan listrik. Apabila pada titik A dalam gambar 2.4 terdapat kelebihan elektron dibandingkan titik B, maka terjadi beda tegangan atau beda potensial antara titik A dan B. apabila antara A dan B dihubungkan dengan suatu penghantar listrik seperti kawat tembaga misalnya, maka kelebihan elektron di A akan mengalir menuju titik B. aliran elektron tersebut menghasilkan apa yang disebut arus listrik.



Gambar 2.6. Arus Listrik

Sumber : Buku Prinsip Dasar Elektronik Halaman 20-21

Titik A yang mempunyai kelebihan elektron dikatakan berpotensi negatif, sedangkan titik B yang kekurangan elektron dikatakan berpotensi positif.

Meskipun elektron mengalir dari potensial negatif ke potensial positif, dalam praktek dikatakan bahwa arus mengalir dari potensial positif ke negatif.<sup>6</sup>

## 2.11 Elektrostatistika

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 sutera. 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

<sup>6</sup> Kf Ibrahim. *Prinsip Dasar Elektronik*. Gramedia. Jakarta. 1986. Halaman 20-21



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.<sup>5</sup>

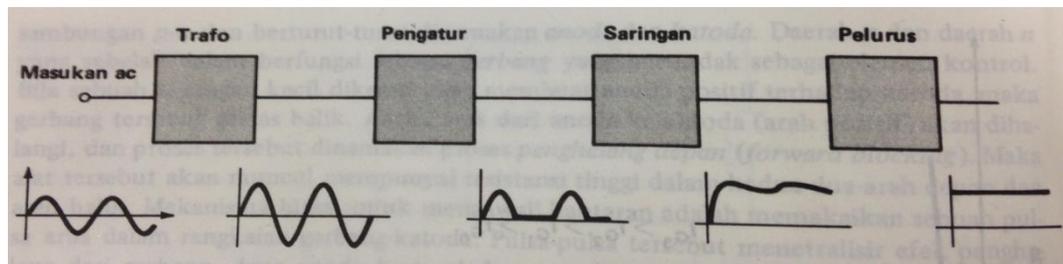
## 2.12 Pengubahan AC ke DC

Arus bolak-balik berfrekuensi tetap dan beramplitudo tetap adalah sumber utama tenaga listrik. (Di Amerika Serikat , arus bolak-balik tersebut adalah

---

<sup>5</sup> Syam Hardy. *Dasar-dasar Teknik Listrik Aliran Rata*. Bina Aksara. Jakarta. 1983. Halaman 1-2

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 perubahan ac ke dc yang perlu.



Gambar 2.7 Diagram Blok Dari Bekal Daya

Sumber : Buku Dasar-dasar Teknik Listrik Aliran Rata Halaman 1-2

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 bergantung pada pemakaian. Seperti yang ditunjukkan oleh bentuk-bentuk gelombang dalam gambar diatas. Maka fungsi-fungsi dari berbagai rangkaian diatas adalah:

- trafo : mengatur tingkat dc sehingga dicapai amplitude dc yang sesuai.
- pelurus : mengubah tegangan sinusoida menjadi sebuah sinyal dc yang berpulsa.
- 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.<sup>4</sup>

### 2.13 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<sup>14</sup>**

<sup>4</sup> Arvin Grabel. *Dasar-dasar Elektroteknik*. Erlangga. Jakarta. 1981. Halaman 384-386

## 2.14 Peralatan-Peralatan Yang Akan Dipakai Pada *Electrostatic Precipitator*.

### 2.14.1 Dioda

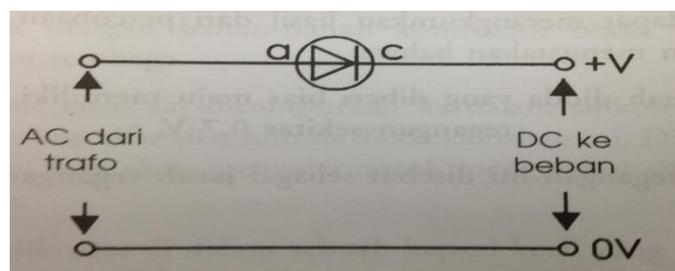
Sebuah dioda dibuat dari silikon. Silikon adalah bahan yang tidak bersifat sebagai penghantar namun tidak pula sebagai penyekat. Silikon adalah bahan semikonduktor. Hal ini berarti bahwa sifat-sifat silikon berbeda dengan bahan-bahan konduktor biasa, seperti misalnya tembaga.

Sejumlah kecil zat dicampurkan ke dalam silikon untuk memberikan sifat-sifat khusus diode ke bahan ini. Dioda dikemas didalam sebuah kapsul kecil yang terbuat dari kaca atau plastik. Kemasan ini memiliki dua kawat terminal. Yang satu disebut anoda, sedangkan lainnya disebut katoda. Biasanya terdapat sebuah cincin di badan dioda yang mengindikasikan terminal mana yang merupakan katoda.

Ketika sebuah diode disambungkan dimana kaki anodanya disambungkan ke kutub positif baterai, kita mengatakan bahwa dioda diberikan bias maju. Sebuah dioda hanya akan menghantarkan arus listrik apabila diberi bias maju. Ketika sebuah dioda disambungkan dengan polaritas yang sebaliknya, dimana kaki katodanya disambungkan ke kutub positif, kita mengatakan bahwa dioda diberikan bias mundur. Sebuah diode tidak akan menghantarkan arus listrik apabila diberi bias mundur.

#### 1. Dioda Penyearah

Salah satu penggunaan terpenting dioda adalah didasarkan pada kemampuan dioda untuk menghantarkan arus hanya ke satu arah.

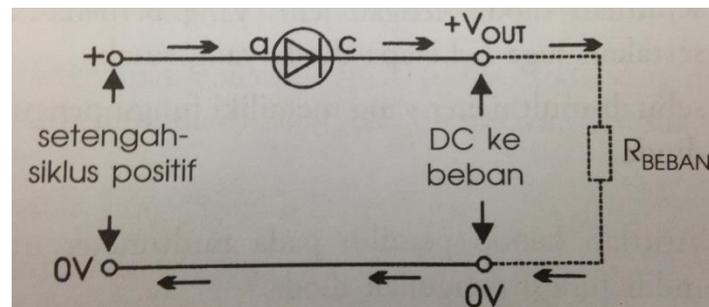


Gambar 2.8 Bias Maju

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

<sup>14</sup> [http://kualitasedara.menlhk.go.id/ispu/tentang\\_ispu](http://kualitasedara.menlhk.go.id/ispu/tentang_ispu)

Arus listrik yang diberikan ke rangkaian adalah arus bolak-balik yang dihasilkan oleh sebuah transformator. Pada diagram dibawah sebuah beban disambungkan ke rangkain di atas. Diagram memperlihatkan jalur yang dilalui arus AC selama setengah siklus positifnya. Dioda diberi bias maju sehingga dapat menghantarkan arus. Arus mengalir melewati dioda ke beban dan kembali menuju trafo melewati jalur 0 V.



Gambar 2.9 Penyearah satu diode

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

Dioda tidak menghantarkan arus listrik selama setengah siklus negatif AC, sebagaimana diperlihatkan di bawah ini:



Gambar 2.10 Bias mundur

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

Bentuk gelombang arus yang melewati beban di plot pada gambar. Meskipun terlihat naik turun, tegangan tetap bernilai positif. Tegangan semacam ini setara dengan tegangan DC.

Dengan membandingkan grafik tegangan input AC dengan tegangan output DC kita dapat mengetahui bahwa :

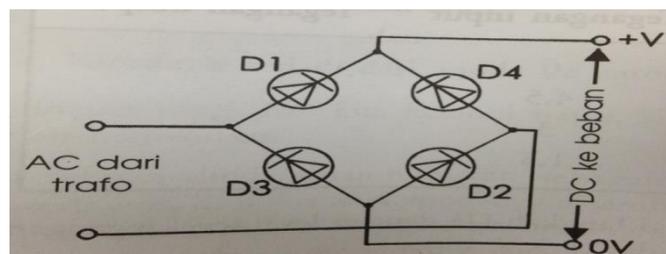
- tidak terdapat output selama setengah siklus negatif. Setengah dari daya input terbuang secara sia-sia.

b. amplitude output lebih kecil dibandingkan dengan amplitude input hal ini disebabkan oleh timbulnya tegangan maju pada diode.

Sebuah rangkaian yang mampu mengkonversikan tegangan AC menjadi DC disebut sebagai rangkaian penyearah (*rectifier*). Karena rangkaian penyearah yang kita bahas disini hanya menghasilkan arus output dari setengah siklus positif input, kita menyebutnya rangkaian penyearah setengah gelombang.

## 2. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

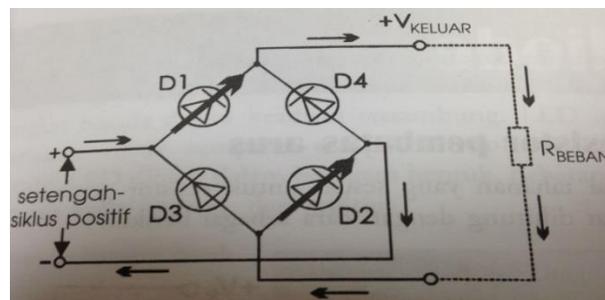
Rangkaian dibawah ini menyearahkan tegangan AC dengan menggunakan sebuah jembatan yang terdiri dari empat buah dioda:



Gambar 2.11 Bias maju dioda jembatan

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

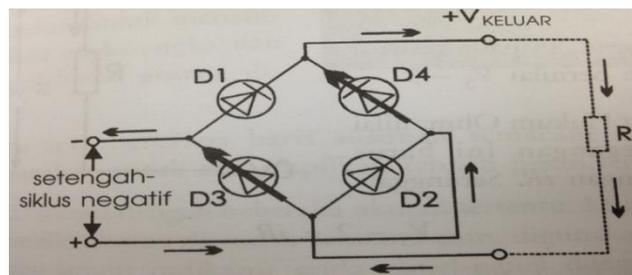
Selama setengah siklus positif, dioda D1 dan dioda D2 diberi bias maju sehingga keduanya menghantarkan arus. Dioda D3 dan dioda D4 diberi bias mundur dan, oleh karenanya, tidak menghantarkan arus. Arus mengalir melalui beban sebagaimana diperlihatkan pada diagram berikutnya.



Gambar 2.12 Bias mundur dioda jembatan

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

Selama setengah siklus negatif, dioda D1 dan dioda D2 diberi bias mundur sehingga keduanya tidak menghantarkan. Dioda D3 dan dioda D4 memperoleh bias maju dan menghantarkan arus listrik.



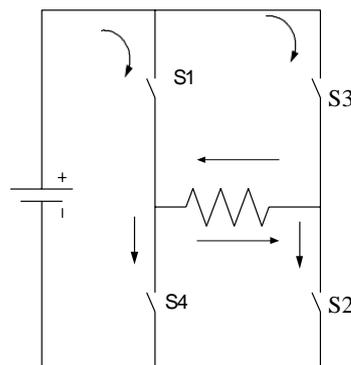
Gambar 2.13 Dioda jembatan

Sumber : Buku Dasar-dasar Elektronika. Halaman 56-59

Kesimpulan yang dapat kita peroleh adalah bahwa arus terus mengalir melewati beban. Pada arah yang sama sebagaimana sebelumnya.

### 2.14.2 Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, cell bahan bakar, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Tegangan output yang biasa dihasilkan adalah 120 V 60 Hz, 220 V 50 Hz, 115 V 400Hz.



Gambar 2.14 Prinsip Kerja Inverter

Sumber : Buku Peralatan Tegangan Tinggi. Halaman 56-59

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke



beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu inverter 1 fasa dan inverter 3 fasa.

Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (pulse width modulation – PWM). Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya, yaitu jika yang diatur tegangan input konstan disebut Voltage Fed Inverter (VFI), jika yang diatur arus input konstan disebut Current Fed Inverter (CFI), dan jika tegangan input yang diatur disebut Variable dc linked inverter.<sup>1</sup>

### 2.14.3 Penghantar Elektroda

Agar suatu bahan dapat menghantarkan arus listrik, bahan tersebut harus mempunyai daya hantar listrik yang baik pada temperatur kerja. Disini bahan pada elektroda positif dan elektroda negatif berbeda, tujuannya adalah agar dapat menghasilkan suatu reaksi korona yang baik. Elektroda positif akan menggunakan bahan aluminium dengan nilai tahanan jenis  $0,00160 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$  dan elektroda negatif akan menggunakan bahan tembaga dengan tahanan jenis  $0,00172 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ .<sup>11</sup>

### 2.14.4 Transformator

Sebuah transformator terdiri dari dua buah solenoid terpisah yang masing-masing dikenal sebagai kumparan primer dan kumparan sekunder. Tegangan masukan dipasang pada kumparan primer. Arus bolak-balik tersebut akan menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah pula. Medan magnet tersebut berinteraksi dengan kumparan sekunder dan akan menginduksi tegangan bolak-balik pada kumparan sekunder. Tegangan imbas pada kumparan sekunder memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi tegangan masuk pada kumparan primer. Besarnya tegangan sekunder tergantung pada tegangan masukan dan perbandingan jumlah lilitan kumparan primer dan sekunder. Hubungan antara tegangan primer dan sekunder akan seperti berikut:

---

<sup>1</sup> Owen Bishop. *Dasar-dasar elektronika*. PT Gelora Aksara Pratama. Jakarta. 2004. Halaman 56-59

<sup>11</sup> Bonggas Tobing. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Erlangga. Jakarta. 2012. Halaman 80-81

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots 2.3$$

Apabila kumparan sekunder dibebani maka perbandingan arus primer dan sekunder akan seperti berikut:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots 2.4$$

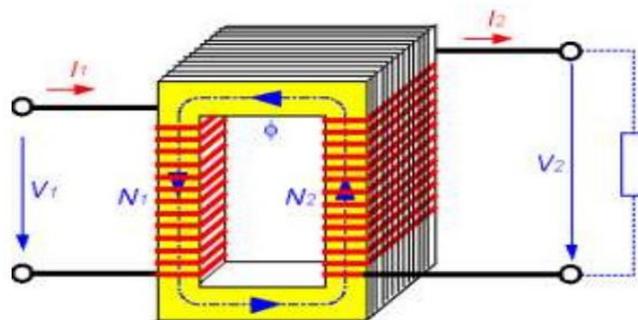
Dengan:

$V_1$  dan  $V_2$  masing-masing tegangan primer dan sekunder.

$I_1$  dan  $I_2$  masing-masing arus primer dan sekunder

$N_1$  dan  $N_2$  masing-masing jumlah lilitan primer dan sekunder

Untuk meningkatkan efisiensi transformator, kedua kumparan dililitkan pada inti besi lunak yang sama, seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.15 Transformator

Sumber : Buku Prinsip Dasar Elektronik. Halaman 101-102

### 1. Transformator Penaik dan Penurun Tegangan

Transformator penaik tegangan (step-up) akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibanding tegangan primernya. Hal ini dicapai dengan membuat jumlah kumparan sekunder lebih banyak dibanding jumlah kumparan primer.

Sebaliknya transformator penurun tegangan (step-down) akan menghasilkan tegangan sekunder yang lebih rendah dibanding tegangan



primernya. Hal ini dicapai dengan membuat jumlah kumparan sekunder lebih sedikit dibanding jumlah kumparan primer.<sup>6</sup>

#### 2.14.5 Kapasitor

Sebuah kapasitor terdiri dari dua buah pelat logam dengan sebuah lapisan osilator diantara kedua pelat tersebut. Lapisan osilator yang digunakan dapat berupa sebuah lempengan plastic tipis, namun dalam beberapa jenis kapasitor lapisan ini adalah udara.

Apabila sebuah kapasitor disambungkan ke sebuah sumber listrik DC, elektron-elektron akan berkumpul pada pelat yang tersambung ke terminal negatif sumber. Elektron-elektron ini akan menolak elektron yang ada pada pelat disebaliknya. Elektron yang tertolak akan mengalir menuju terminal positif sumber.

Sebuah kapasitor yang disambungkan seperti ini ke sebuah sumber daya dengan seketika akan menjadi bermuatan. Tegangan antara kedua platnya adalah sama dengan tegangan sumber daya. Ketika kapasitor tersebut dilepaskan dari sumber daya, kapasitor tetap mempertahankan muatannya.

Karena lapisan osilator yang ada pada kapasitor, arus tidak dapat mengalir melewati kapasitor. Kapasitor akan tetap bermuatan hingga waktu yang tidak terbatas. Dengan alasan ini, kapasitor sangat berguna untuk menyimpan muatan listrik.

Kapasitansi adalah kemampuan sebuah kapasitor untuk menyimpan muatan listrik disebut sebagai kapasitansi kapasitor, dengan simbol  $C$ . satuan untuk kapasitansi adalah farad, yang simbolnya adalah  $F$ . satu farad didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik yang dapat disimpan (dalam satuan coulomb) per satu volt tegangan.

Sedangkan untuk jenis-jenis kapasitor yang paling sering dijumpai adalah kapasitor polyester, kapasitor poliestiren, dan kapasitor variable.<sup>2</sup>

---

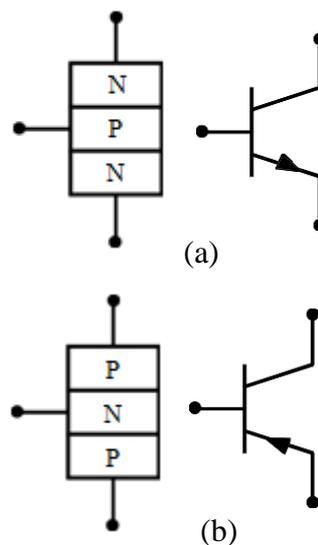
<sup>6</sup> Kf Ibrahim. *Prinsip Dasar Elektronik*. Gramedia. Jakarta. 1986. Halaman 101-102

<sup>2</sup> Owen Bishop. *Dasar-dasar elektronika*. PT Gelora Aksara Pratama. Jakarta. 2004. Halaman 27-28

### 2.14.6 Transistor

Pada bagian ini akan kita pelajari karakteristik piranti tiga terminal atau lebih dikenal sebagai “transistor”. Pada bagian ini kita akan pertama-tama membahas transistor *bipolar* atau BJT (*bipolar junction transistor*). Berikutnya akan kita bahas transistor *unipolar* seperti misalnya FET (*field-effect transistor*).

Dibandingkan dengan FET, BJT dapat memberikan penguatan yang jauh lebih besar dan tanggapan frekuensi yang lebih baik. Pada BJT baik pembawa muatan mayoritas maupun pembawa muatan minoritas mempunyai peranan yang sama pentingnya.



Gambar 2.16 Diagram BJT : a) Jenis *n-p-n* dan b) Jenis *p-n-p*

Sumber : Buku Prinsip-prinsip Elektronika. Halaman 96-97

Terdapat dua jenis konstruksi dasar BJT, yaitu jenis *n-p-n* dan jenis *p-n-p*. Untuk jenis *n-p-n*, BJT terbuat dari lapisan tipis semikonduktor tipe-*p* dengan tingkat doping yang relatif rendah, yang diapit oleh dua lapisan semikonduktor tipe-*n*. Karena alasan sejarah pembuatannya, bagian di tengah disebut “basis” (*base*), salah satu bagian tipe-*n* (biasanya mempunyai dimensi yang kecil) disebut “emitor” (*emitter*) dan yang lainnya sebagai “kolektor” (*collector*). Secara skematik kedua jenis transistor diperlihatkan pada gambar 2.15.



Tanda panah pada gambar 9.1 menunjukkan kaki emitor dan titik dari material tipe- $p$  ke material tipe- $n$ . Perhatikan bahwa untuk jenis  $n-p-n$ , transistor terdiri dari dua sambungan  $p-n$  yang berperilaku seperti diode. Setiap diode dapat diberi panjar maju atau berpanjar mundur, sehingga transistor dapat memiliki empat modus pengoperasian. Salah satu modus yang banyak digunakan disebut “modus normal”, yaitu sambungan emitor-basis berpanjar maju dan sambungan kolektor-basis berpanjar mundur. Modus ini juga sering disebut sebagai pengoperasian transistor pada “daerah aktif”.<sup>8</sup>

### 1. Kontrol Basis Proporsional

Tipe kontrol ini memiliki kelebihan dibandingkan rangkaian penggerak konstan. Jika arus kolektor berubah karena untuk mengubah permintaan beban, arus penggerak basis diubah proporsinya ke arus kolektor. Sebuah pengaturan ditunjukkan pada gambar dibawah. Ketika saklar S1 menyala, sebuah pulsa arus dengan durasi pendek akan mengalir melalui basis transistor Q1 dan Q1 menjadi menyala menjadi saturasi. Sekali arus kolektor mulai mengalir, arus basis yang berhubungan akan menginduksi karena aksi transformer. Transistor akan menahan pada dirinya sendiri, dan S1 dapat dimatikan. Untuk operasi yang sesuai dari rangkaian, arus magnetisasi, yang harus lebih kecil daripada arus kolektor, harus sekecil mungkin. Saklar S1 dapat diimplementasikan dengan transistor sinyal kecil, dan penambahan sebuah rangkaian diperlukan untuk mengosongkan muatan kapasitor C1 dan mereset inti transformer selama pematian transistor daya.<sup>9</sup>

### 2.15 Software yang dipakai sebagai pengujian dan kontrol dari alat *electrostatic precipitator*

#### 2.15.1 Arduino (Mikrokontroler)

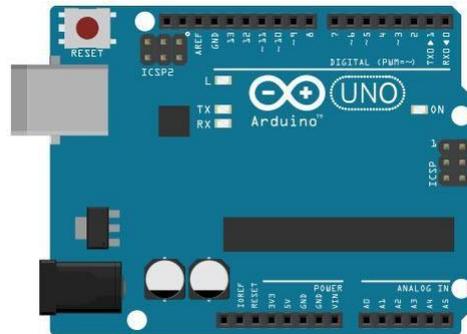
Dalam diskusi sehari-hari dan di forum internet, mikrokontroller sering dikenal dengan sebut  $\mu C$ ,  $uC$ , atau MCU. Terjemahan bebas dari pengertian tersebut, bisa dikatakan bahwa mikrokontroller adalah komputer yang berukuran

---

<sup>8</sup> Albert Paul Malvino. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Erlangga. Jakarta. 1999. Halaman 96-97

<sup>9</sup> Muhammad Rashid. *Elektronika Daya*. Prehalindo. Jakarta. 1999. Halaman 217-218

mikro dalam satu chip IC (integrated circuit) yang terdiri dari processor, memory, dan antarmuka yang bisa diprogram. Jadi disebut komputer mikro karena dalam IC atau chip mikrokontroler terdiri dari CPU, memory, dan I/O yang bisa kita kontrol dengan memprogramnya. I/O juga sering disebut dengan GPIO (*General Purpose Input Output Pins*) yang berarti : pin yang bisa kita program sebagai input atau output sesuai kebutuhan.



Gambar 2.17 Board Arduino Uno

Sumber : Buku Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula. Halaman 10

Dalam alat ini akan menggunakan *board* Arduino Uno (Gambar 2.16). Board Arduino terdiri dari hardware / modul mikrokontroler yang siap pakai dan *software* IDE yang digunakan untuk memprogram sehingga kita bisa belajar dengan mudah. Kelebihan dari Arduino yaitu kita tidak direpotkan dengan rangkaian minimum sistem dan *programmer* karena sudah *built in* dalam satu *board*. Oleh sebab itu kita bisa fokus ke pengembangan sistem. Berikut penjelasan tentang pin pada arduino uno:

- a. Serial, terdiri dari 2 pin : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- b. *External Interrupts*, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan interrupt. Gunakan fungsi `attachInterrupt()`
- c. PWM: Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`
- d. SPI : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI Library
- e. LED : Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13.



- f. TWI : Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan Wire Library
- g. GND. Ini adalah ground atau negatif.
- h. Vin. Ini adalah pin yang digunakan jika anda ingin memberikan power langsung ke board Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V
- i. Pin 5V. Ini adalah pin output dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5V yang telah melalui regulator
- j. 3V3. Ini adalah pin output dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3V yang telah melalui regulator
- k. IOREF. Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroler. Biasanya digunakan pada board shield untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3.3V

Arduino Uno memiliki 6 buah input analog, yang diberi tanda dengan A0, A1, A2, A3, A4, A5. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada board ini adalah :

- a. AREF. Sebagai referensi tegangan untuk input analog.
- b. *Reset*. Hubungkan ke *LOW* untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

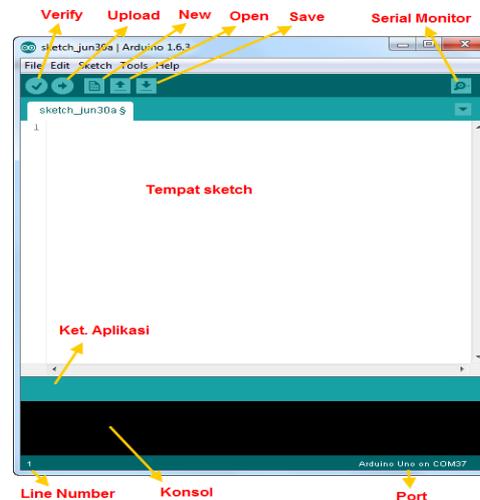
### **1. Instalasi Arduino IDE**

Kita bisa mendownload Arduino IDE di website Arduino. Software Arduino ada yang versi installer (hanya untuk Windows) dan versi terkompres dalam zip. Jika memilih versi tanpa install (format.zip), maka Anda hanya perlu mengekstraknya di folder mana saja dan Anda bisa langsung menjalankannya.

### **2. Arduino IDE**

Untuk memprogram board Arduino, kita butuh aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) bawaan dari Arduino. Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* Arduino (*Sketches*, para *programmer* menyebut *source code* arduino dengan istilah "*sketches*").

Selanjutnya, jika kita menyebut *source code* yang ditulis untuk Arduino, kita sebut "*sketch*" juga ya :). Sketch merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler (Arduino).



Gambar 2.18 *Interface Arduino IDE*

Sumber : Buku Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula. Halaman 10

*Interface* Arduino IDE tampak seperti gambar 1.7. Dari kiri ke kanan dan atas ke bawah, bagian-bagian IDE Arduino terdiri dari:

- a) *Verify* : pada versi sebelumnya dikenal dengan istilah *Compile*. Sebelum aplikasi diupload ke *board* Arduino, biasanya untuk memverifikasi terlebih dahulu *sketch* yang dibuat. Jika ada kesalahan pada *sketch*, nanti akan muncul error. Proses *Verify* / *Compile* mengubah *sketch* ke *binary code* untuk diupload ke mikrokontroler.
- b) *Upload* : tombol ini berfungsi untuk mengupload *sketch* ke *board* Arduino. Walaupun kita tidak mengklik tombol *verify*, maka *sketch* akan di-*compile*, kemudian langsung diupload ke *board*. Berbeda dengan tombol *verify* yang hanya berfungsi untuk memverifikasi *source code* saja.
- c) *New Sketch* : Membuka window dan membuat *sketch* baru
- d) *Open Sketch* : Membuka *sketch* yang sudah pernah dibuat. *Sketch* yang dibuat dengan IDE Arduino akan disimpan dengan ekstensi file *.ino*
- e) *Save Sketch* : menyimpan *sketch*, tapi tidak disertai mengcompile.



- f) Serial *Monitor* : Membuka *interface* untuk komunikasi serial, nanti akan kita diskusikan lebih lanjut pada bagian selanjutnya
- g) Keterangan Aplikasi : pesan-pesan yang dilakukan aplikasi akan muncul di sini, misal "*Compiling*" dan "*Done Uploading*" ketika kita mengcompile dan mengupload *sketch* ke *board* Arduino
- h) Konsol : Pesan-pesan yang dikerjakan aplikasi dan pesan-pesan tentang *sketch* akan muncul pada bagian ini. Misal, ketika aplikasi mengcompile atau ketika ada kesalahan pada *sketch* yang kita buat, maka informasi *error* dan baris akan diinformasikan di bagian ini.
- i) Baris *Sketch* : bagian ini akan menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif pada *sketch*.
- j) Informasi *Port* : bagian ini menginformasikan *port* yang dipakai oleh *board* Arduino.<sup>10</sup>

### 2.15.2 FEMM Software

*Finite Element Method Magnetics* (FEMM) adalah paket elemen terbatas untuk memecahkan masalah 2D planar dan *axisymmetric* pada frekuensi magnet dan elektrostatik yang rendah. Program ini berjalan di Windows 95, 98, ME, NT, 2000 dan XP.

Aplikasi ini terdiri dari *shell* interaktif, meliputi grafis pre dan post *processing*, generator jala, dan berbagai pemecah. Sebuah bahasa *scripting* yang kuat, Lua 4.0, terintegrasi dengan program. Lua memungkinkan pengguna untuk membuat batch berjalan, menggambarkan geometri parametrically, melakukan optimasi, dll Lua juga terintegrasi ke dalam setiap kotak edit dalam program sehingga rumus dapat dimasukkan sebagai pengganti nilai-nilai numerik, jika diinginkan.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> Hari Santoso. *Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula*. Elang Sakti. Jakarta. 2015 Halaman 1-3,10-11.

<sup>12</sup> <http://naufalanas.blogspot.co.id/2013/12/femm.html>