

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan tugas akhir yang diambil, terdapat beberapa referensi-referensi yang meneliti tentang kinerja sebuah *electrostatic precipitator* yang digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Adapun referensi yang telah saya ambil sebagai berikut :

Noza Afrian, dkk Universitas Riau (2015) *Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp and Paper*. Menjelaskan berdasarkan pengaruh tegangan DC yang digunakan bagaimana kinerja sebuah *electrostatic precipitator* dan juga perhitungan apa yang berpengaruh terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

Sepfitrah, dkk Universitas Pasir Pangarian (2015) *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler*. Menjelaskan berapa emisi yang dihasilkan di *recovery boiler* dapat dikurangi dengan menggunakan ESP.

Luthfi Maslul Muttaqim, dkk Universitas Diponegoro (2015) *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Exhaust Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang Main Engine Kapal Latih Bimasakti*. Menjelaskan seberapa besar efisiensi ESP menggunakan model ukuran ESP yang dibuat tetap atau jarak elektroda yang dirubah dengan begitu didapatkan model ESP yang efisiensinya tinggi.

Margono Sugeng, dkk Institut Sains dan Teknologi Nasional *Pengaruh Kegagalan Collecting Plate System Electrostatic Precipitator dengan Kenaikan Emisi pada Pembangkitan Listrik Tenaga Uap*. Menjelaskan bahwa ESP harus memperhatikan desain kriteria terutama *collecting plate* apabila mengalami kegagalan dapat menyebabkan efisiensi ESP menurun.

Hardian Yanuar W Kamoto, Universitas Diponegoro (2010) *Pemicuan Metode Intermittent Energization pada Raw Mill Electrostatic Precipitator PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Plant 9*. Menjelaskan alat penyaring debu hasil dari Raw Mill yang telah halus dihisap dari proses grinding menggunakan udara bertekanan, dihisap menuju *electrostatic precipitator* melalui *fan*.

Martadinata I Made, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo *Rancang Bangun Electrostatic Precipitator (ESP) Sebagai Penangkap Debu Layang Indoor Berbasis Mikrokontroler*. Menjelaskan suatu alat pengendap debu menggunakan *electrostatic precipitator* untuk mengurangi kadar pencemaran udara dengan memanfaatkan energi listrik berbasis mikrokontroler.

Wibowo Hardian Yanuar, Universitas Diponegoro (2010) *Pembuatan Power Supply Tegangan Tinggi Searah dengan Menerapkan Metode Intermittent Energisation untuk Pengendapan Debu Secara Elektrostatis*. Menjelaskan bahwa semakin besar tegangan tinggi rata-rata yang diaplikasikan maka debu semakin cepat terkumpul pada *collecting electrode* dan semakin cepat pula elektroda pengumpul mencapai titik jenuh.

Saidiman Wahyu, Politeknik Negeri Samarinda (2009) *Perancangan Electrostatic Precipitator (ESP) pada Cerobong Gas Buang Boiler Sebagai Penangkap Limbah Debu di Pabrik Kayu Lapis PT. SUMALINDO LESTARI JAYA, Tbk SAMARINDA*. Menjelaskan salah satu cara untuk mengatasi masalah limbah debu yaitu dengan menggunakan *electrostatic precipitator* dengan keunggulan efisiensi yang besar, yakni bisa mencapai diatas 90 %.

Sunardi Agung Firmansyah, dkk Universitas Brawijaya (2012) *Perancangan dan Pembuatan Model Miniatur Electrostatic Precipitator (Pengendap Debu Elektrostatis) untuk Mengurangi Partikel Debu Gas Buang Pabrik Gula Krebet Baru 1 Kabupaten Malang*. Menjelaskan bahwa penangkapan partikel gas buang dipengaruhi oleh tegangan korona, kuat medan listrik, tegangan aplikasi, kecepatan gerak partikel, peberian muatan partikel, luas total pengumpul, dan efisiensi. *Electrostatic precipitator* agar didapatkan efisiensi yang lebih optimal dibutuhkan perubahan parameter yaitu kecepatan migrasi partikel, tegangan aplikasi, dan pemberian muatan partikel maka EP akan bekerja 99%.

Syarifil Anwar, ATPN Banjarbaru (2017) *Pembersih Udara Buang Pada Boiler (Ketel) Uap dengan Menggunakan Electrostatic Precipitator (EP) pada PLTU Asam-asam*. Menjelaskan tentang perlunya penggunaan *electrostatic precipitator* pada penghisap dan pembersih debu keluaran batubara pada cerobong *boiler* agar dapat mengurangi polusi dan menjaga kebersihan cerobong.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian *Electrostatic Precipitator* (EP)

Electrostatic precipitator merupakan alat yang banyak digunakan di berbagai industri dan juga pembangkit yang digunakan untuk penangkapan debu atau *ash collection* yang fungsinya untuk mengurangi polusi debu yang ditimbulkan dari hasil penghancuran material bahan baku maupun hasil pembakaran pembuatan berbagai macam hasil produksi khususnya di pabrik semen EP digunakan sebagai penangkap debu hasil penggilingan (*Grinding*) dari proses *raw mill* yaitu penggilingan bahan baku batu kapur yang berbentuk bongkahan di giling hingga menjad seperti serbuk atau tepung sebelum menuju *silo*.

Electrostatic precipitator merupakan alat penangkap debu yang rentang partikel yang dapat ditangkap cukup besar dan juga memiliki efisiensi yang tinggi hingga diatas 90%. Dengan EP, diharapkan partikulat debu yang dihasilkan dan keluar pada cerobong hanya sekitar 0,16% (efisiensi dalam penangkapan partikulat debu dalam 99,84 %), seukuran partikel debu terkecil yang diperoleh $<2\mu\text{C}$. Dibawah ini merupakan gambar *electrostatic precipitator* yang digunakan di PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk, *Plant-12 Tarjun* dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 *Electrostatic Precipitator* pada *Raw Mill* PT Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk Plant-12 Tarjun

2.2.2 Teori Dasar *Electrostatic Precipitator* (EP)

Electrostatic precipitator (EP) yang dipasang pada sistem cerobong asap yang digunakan untuk media penangkap debu terbang atau partikulat hasil proses penghancuran atau *raw mill* dengan bantuan kipas penghisap. Teknik yang dipakai ialah dengan menjebak partikel debu halus dengan bantuan listrik bertegangan tinggi. Daerah dimana terdapat banyak elektron merupakan daerah yang disebut dengan daerah potensial tinggi, sedangkan daerah dimana terdapat hanya sedikit elektron merupakan daerah potensial rendah. Keadaan tersebut adalah prinsip kerja aliran listrik yaitu listrik akan mengalir dari daerah yang memiliki banyak elektron atau potensial yang tinggi ke daerah yang memiliki sedikit elektron atau potensial yang rendah (banyak proton, sedikit elektron).

Seperti halnya baterai yang memiliki dua buah kutub, yaitu kutub negatif dan juga kutub positif. Kutub memiliki banyak elektron ialah kutub negatif, sedangkan yang memiliki sedikit elektron merupakan kutub positif. Ketika baterai digunakan, proton akan berjalan menuju kutub yang memiliki sedikit elektronnya, sehingga akan menyebabkan jumlah elektron yang ada di kedua kutub menjadi sama dan hal tersebut menyebabkan baterai dikatakan habis. Sifat tersebut yang pada akhirnya dipakai sebagai awal mula ide pembuatan *electrostatic precipitator*.

EP secara umum terdiri dari tiga komponen utama yaitu *discharge electrode*, *collecting plate* dan *hammering device*. *Discharge electrode* (DE) adalah elektroda yang dialiri arus DC tegangan tinggi negatif sehingga menghasilkan medan listrik negatif. *Collecting plate* (CE) adalah elektroda yang di-tanahkan, fungsinya agar mendapatkan potensial yang rendah. *Hammering device* (HD) adalah palu yang berguna untuk melepaskan debu / partikel yang melekat di *collecting plate*. Karena DE merupakan daerah dengan medan listrik terkuat. Semakin jauh dari DE, maka medan listrik negatif akan semakin lemah.

2.2.3 Komponen-komponen Utama *Electrostatic Precipitator*

Dalam sebuah *electrostatic precipitator* terdapat bagian-bagian utama pada EP terdiri dari beberapa bagian yaitu :

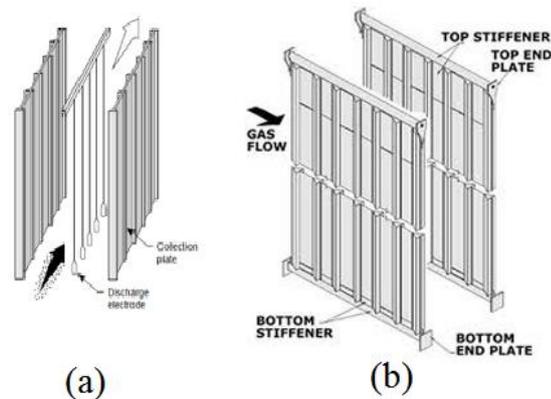
1. *Casing* atau *Mainhole EP*

Casing dari EP terbuat dari ASTM A-36 yaitu karbon baja. *Casing* pada EP dibuat kedap udara karena gas buang pada *raw mill* memiliki tekanan udara yang kuat dan apabila tidak dibuat kedap udara akan menimbulkan keluarnya gas buang tersebut yang akan mengakibatkan efisiensi EP akan menurun. Desain EP memiliki ruang yang berfungsi sebagai tempat untuk memuai yang berguna agar EP tidak mengalami kerusakan karena panas yang berlebih karena EP bekerja didalam temperatur yang tinggi. Sehingga pada *casing* dipasang bahan yang anti panas agar terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan. Disisi samping EP terdapat pintu yang digunakan untuk keperluan perawatan sisi dalam EP.

2. *Collection Electrode* (CE)

Collecting electrode merupakan tempat yang digunakan sebagai media pengumpul abu atau debu yang telah bermuatan negatif yang akan jatuh ke bak penampung atau *hopper*. *Collecting electrode* merupakan plat baja yang cukup tipis yang dipasang pada *casing* yang digantung pada bagian atas *casing*. *Collecting electrode* dipasang dibagian atas *casing* agar didapatkan medan listrik yang setara pada *collecting electrode* dan juga untuk menetralkan terjadinya *corona* atau bunga

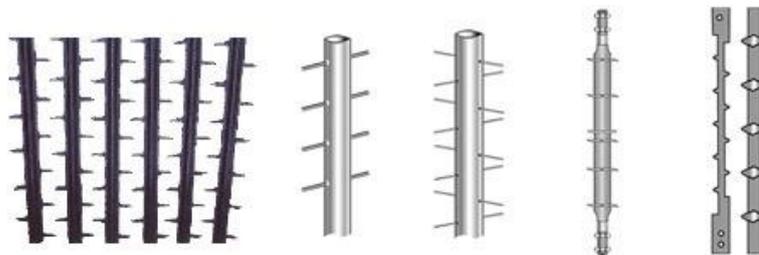
api sehingga *collecting electrode* dipasang diketinggian tertentu. Gambar dari *collecting plate* dan *discharge electrode* bisa dilihat di gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 (a) *Collecting Electrode* dan *Discharge Electrode* (b) *Collecting Plate*
http://www.thakkargroup.com/collecting_electrodes.html

3. *Discharge Electrode* (DE)

Tegangan DC yang tinggi dihubungkan dengan *discharge electrode* berguna untuk menghasilkan korona listrik. DE berfungsi menjadikan partikulat menjadi negatif. DE dipasang diantara CE. Agar tidak terjadi hubung singkat atau *short circuit*, DE yang dipasang diberi jarak untuk memisahkan antara DE dengan *casing* dan CE bermuatan netral. *Discharge electrode* bisa dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 *Discharge Electrode*
<http://www.abrenvirosystems.com/air-polution-controlling-equipment.html>

4. *Hopper*

Bahan yang digunakan dalam pembuatan *hopper* sama dengan yang digunakan untuk membuat *casing*. *Hopper* merupakan bak piramid terbalik yang dipasang dibawah EP. *Hopper* berfungsi sebagai tempat penyimpanan debu yang jatuh dari CE dan DE. Debu yang berada pada *hopper* hanya sementara, dan selanjutnya akan berpindah menggunakan *screw conveyor* ke dalam bak penampungan dengan daya tampung yang lebih besar atau disebut *silo* untuk digunakan dalam proses selanjutnya.

5. Sumber Energi Listrik

Sumber energi listrik ini berfungsi menyuplai listrik ke sistem EP dengan bantuan transformator penyearah. Berasal dari listrik AC bertegangan 400-480 VAC, kemudian ditingkatkan sampai 78,5 - 100 kV kemudian diubah jadi tegangan DC negatif yang akan dihubungkan dengan DE.

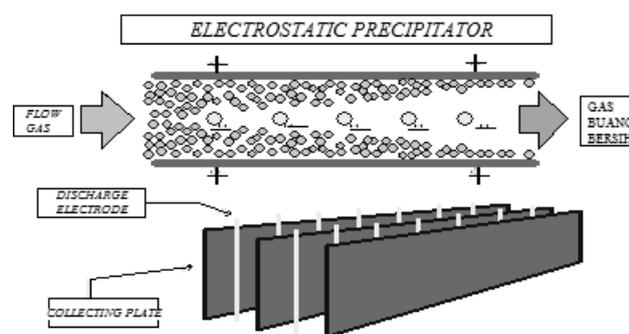
6. *Hammering Device* (HD)

Hammering device merupakan sebuah alat yang digunakan menjatuhkan partikel debu yang menempel pada CE. HD merupakan alat yang seperti palu yang akan menggetarkan CE yang menempel debu tadi agar jatuh ke *hopper*.

2.2.4 Prinsip Kerja *Electrostatic Precipitator*

Prinsip kerja EP sendiri berdasarkan atas partikel yang diberikan muatan listrik yang disalurkan pada suatu medan elektrostatis, yang sistem ini memiliki terdiri dari dua buah elektroda yaitu elektroda pelepasan (*discharge electrode* atau *emiting*) yang terbuat dari kawat baja dan elektroda pengumpul (*collecting electrode*) yang berwujud plat baja (*steel plate*). *Discharge electrode/emiting* yang bermuatan negatif (-) berfungsi untuk menghasilkan elektron bebas yang digunakan untuk memberikan muatan (*charging*) kepada partikel debu, sedangkan *collecting electrode* fungsinya untuk menarik partikel yang telah diberikan muatan hingga partikel yang bermuatan akan terkumpul pada *collecting plate*. Dengan tegangan yang cukup besar diantara kedua elektroda, maka sekitar *discharge*

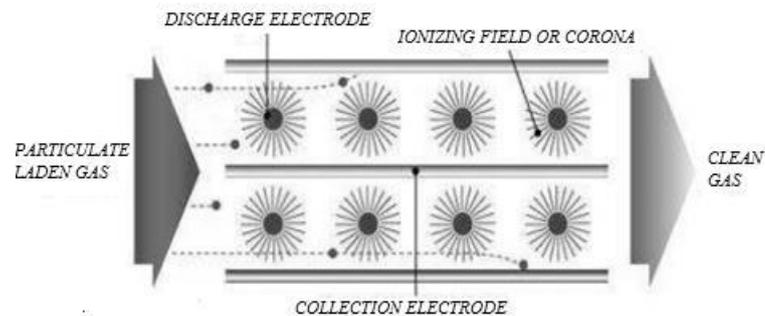
electrode akan timbul korona. Lalu, elektron-elektron akan mengionisasi gas disekitar nya sehingga akan membentuk ion-ion positif dan negatif dari gas. Karena disebabkan pengaruh medan listrik yang sangat kuat maka ion-ion negatif bergerak menuju *collecting electrode*. Dapat dilihat gambar 2.4 merupakan gambar dari proses pemberian muatan pada partikel yang lewat pada EP.



Gambar 2.4 Proses Pemberian Muatan pada Partikel

Sumber : www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/

Selama perjalanan ion negatif ke *collecting electrode* partikel debu yang lewat maka ion tersebut akan melepaskan muatan tersebut ke partikel sehingga muatan akan berpartikel negatif. Ion partikel ini kemudian tertarik ke *collecting electrode*. Pada *electrode* ini ion partikel ditangkap dan dinetralkan, disamping sebagian kecil partikel debu bermuatan positif yang kemudian bergerak menuju *emitting electrode*. *Discharge electrode* berada ditengah-tengah antara *collecting plate* dan dipasang secara berselang-seling. Debu yang terbawa bersama gas akan dilewatkan melalui elektroda-elektroda tersebut di mana debu akan diberikan muatan oleh *discharge electrode*. Kemudian debu yang bermuatan tadi akan tertarik oleh *collecting plate* sedikit demi sedikit. Gambar dibawah merupakan gambar 2.5 berupa proses pengumpulan partikel yang ada dalam EP.



Gambar 2.5 Proses Pengumpulan Partikel

Sumber : www.artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/

Partikel debu yang diberi muatan negatif akan menempel pada *collecting plate* sebagai efek elektrostatis. Debu yang menempel pada *collecting plate* secara periodik akan lepas dengan cara dipukul dengan *rapper* dan dengan periode waktu tertentu, sehingga debu yang tadi akan jatuh dan ditampung di dalam *hopper* yang kemudian akan dikirim ke proses berikutnya.

2.2.5 Debu (Partikulat)

Debu adalah nama umum untuk sejumlah partikel padat yang kecil dengan rata-rata diameter kurang dari 500 mikrometer. Butiran yang berukuran kecil ini bila dari industri semen salah satunya berasal pada proses *raw mill* yaitu penggilingan bahan baku batu kapur yang dihaluskan hingga ukuran kecil seperti tepung. Ada beberapa hal yang mempengaruhi penangkapan debu, yaitu :

1. Resistifitas Partikel

Resistifitas partikel ialah ukuran resistansi suatu partikel terhadap listrik, dan sebuah indikasi dari kecepatan perpindahan partikel tersebut. Resistifitas sangat berperan penting terhadap kinerja sebuah EP melainkan efisiensi EP tersebut. Satuan untuk resistifitas ialah Ω cm.

Nilai sebuah resistifitas bahan secara umum berada pada kisaran 10^{-3} hingga 10^{14} Ω -cm, sedangkan resistifitas sebuah partikel yang baik untuk EP ialah 10^7 – 10^{10} Ω -cm.

2. Ukuran Partikel

Ukuran partikel sangat berpengaruh juga terhadap muatan yang diberikan kepadanya, ukuran partikel semakin besar maka semakin baik ion gas menabrak partikel tersebut menyebabkan semakin besarnya muatan yang dimiliki hal tersebut mengakibatkan semakin cepat partikel menempel pada *collecting electrode*. Tetapi ini hanya berlaku pada ukuran partikel yang ukurannya lebih dari 1 mikrometer.

3. Pengaruh Temperatur

Medan listrik akan dipengaruhi oleh temperatur jika sebuah temperatur meningkat akan menyebabkan kuat medan listrik akan menurun lalu mengakibatkan kekuatan tangkap partikel menjadi menurun juga akibatnya kinerja EP juga ikut menurun.

4. Pengaruh *Spark* (loncatan bunga api)

Spark timbul akibat lapisan debu yang berada pada *collecting electrode* terlalu tebal akibat kegagalan rapping ataupun pengaruh yang telah dijelaskan sebelumnya.

2.2.6 Kecepatan Migrasi Partikel

Kecepatan Migrasi Partikel ialah kecepatan partikel pada saat diberikan muatan negatif menuju *collecting electrode*. Yang berpengaruh terhadap kecepatan partikel ialah kuat medan listrik, ukuran partikel. Kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2 K_0 p a E_c E_p}{3\mu} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

A = Jari-jari partikel (m)

p = Tekanan (1 atm)

E_c = Kuat medan listrik (v/m)

E_p = Kuat medan precipitator (v/m)

μ = Viskositas gas (pascal.detik)

K_0 = Permittivity ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m) ($\epsilon_c = \epsilon_p = \epsilon$)

Persamaan kedua yang dapat digunakan untuk mencari kecepatan migrasi partikel yaitu dapat dilihat pada persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

Q = Laju aliran gas ($1.569.197,260$ m³/s)

A = Luas medan penampang (22.400 m²)

η = Efisiensi EP

2.2.7 Efisiensi Pengumpulan Partikel

Pada tahun 1919 dikembangkan pertama kalinya efisiensi EP oleh Elvald Anderson, lalu dikembangkan secara teoritis oleh W. Deutsch di tahun 1922. Persamaan yang dikenal sebagai persamaan Deutsch-Anderson dapat dilihat pada persamaan (2.3) sebagai berikut :

$$Eff = 1 - e^{-\left(\frac{\omega A}{Q}\right)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

ω = Kecepatan migrasi partikel (m/s)

A = Luas media pengkapan (22.400 m²)

Q = Laju aliran gas ($1.569.197,260$ m³/s)

e = Bilangan napier ($2,71828$)

2.2.8 MATLAB (*matrix laboratory*)

MATLAB merupakan sebuah kalkulator yang mampu melakukan perhitungan, mulai dari perhitungan yang sederhana hingga yang rumit. Selain itu ,

kemampuan MATLAB yang lain adalah dalam hal visualisasi atau grafik dari hasil suatu fungsi matematika. MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang menggunakan bahasa *command line*. MATLAB juga menyediakan fungsi-fungsi matematika yang sangat lengkap, misalkan *sqrt*, *det*, *inv* dan seterusnya. Data yang dikelola dapat berbentuk *array* maupun matriks. MATLAB biasanya digunakan untuk :

1. Pengembangan dalam algoritma matematika dan juga komputasi
2. Pemodelan, pembuatan sebuah *prototype* , simulasi dan juga penerimaan data
3. Eksplorasi, visualisasi data serta analisa data
4. *Engineering* dan *scientific*
5. Pengembangan aplikasi yang berbasis grafik, dan pembuatan GUI (*Graphical User Interface*)

Perangkat lunak MATLAB itu sendiri memiliki pengaplikasian yang berbeda pada setiap pengerjaannya khususnya dalam perhitungan yang matematis. Untuk mengetahui sebuah MATLAB melakukan seluruh perhitungan matematis kedalam bentuk matriks, sedangkan untuk menampilkan grafik dan dapat kita atur ulang dan dirancang sesuai keinginan, dapat menggunakan GUI itu sendiri.

MATLAB atau yang biasa disebut *matrix laboratory*. Untuk lingkup sebuah perguruan tinggi, perangkat standar ini digunakan untuk pengembangan dan membuat mudah penyajian matematika, rekayasa dan keilmuan. Pada bidang industri, *software* ini sering digunakan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi, dalam pengembangan analisisnya. MATLAB memiliki fitur-fitur yang telah banyak dikembangkan atau sering disebut dengan *toolbox*. Penting bagi seorang pengguna MATLAB, untuk mengetahui *toolbox* yang mendukung dalam bidang *apply technology* dan *learn* yang ingin dipelajarinya. *Toolbox* adalah kumpulan-kumpulan fungsi dari MATLAB atau (*M-files*) yang sudah dikembangkan dalam lingkungan kerja MATLAB digunakan untuk memecahkan masalah. Area yang biasa dipecahkan dengan *toolbox* dalam *system control*, pengolahan sinyal, *fuzzy logic*, *wavelets*, dan *neural network*.

Dalam sebuah sistem, MATLAB tersusun dari 5 bagian utama yaitu:

1. API (*Application Program Interface*)

Suatu *library* yang memungkinkan program yang telah kita buat dalam bahasa *C* dan *Fortran* dapat berinteraksi dengan MATLAB. Untuk pemanggilan *routines* dari MATLAB (*dynamic linking*), penggunaan MATLAB untuk sebuah *computation engine*, serta untuk membaca dan menulis *MAT-files*.

2. Development Environment

Merupakan sekumpulan fasilitas dan perangkat yang bisa digunakan dalam membantu dalam memakai file-file dan fungsi-fungsi MATLAB. Perangkat ini merupakan sebuah GUI (*Graphical User Interface*) termasuk didalamnya ialah MATLAB, *command windows*, *desktop*, *command history*, *editor*, *debugger* dan *browser* yang digunakan untuk melihat *help*, *workspace*, *files*, dan *search path*.

3. Language

Sebuah *high level matrix/array language* dengan *functions*, *input/output*, *data structures*, *control flow statements* dan fitur-fitur *object oriented programming*. Memungkinkan untuk melakukan *programming* yang sederhana untuk mendapatkan hasil yang cepat dan pemrograman yang lingkupnya lebih luas untuk mendapatkan hasil aplikasi yang kompleks.

4. Mathematical Function Library

Sekumpulan algoritma komputasi dari fungsi yang dasar-dasar yaitu *sum*, *sin*, *cos*, dan *complex arithmetic*, hingga dengan fungsi yang lebih kompleks seperti *inverse*, *matrix*, *matrix eigenvalues*, *fast fourier transforms* dan *bessel functions*.

5. Graphics

Grafik pada MATLAB memiliki fasilitas untuk menampilkan *vector* dan *matrix* sebagai suatu grafik yang melibatkan *high-level functions* untuk memvisualisasikan data dua dimensi maupun data tiga dimensi, *animation*, *image processing*, dan *presentation graphics*. Semua ini melibatkan fungsi level yang memungkinkan untuk membiasakan memunculkan grafik dari bentuk yang sederhana hingga dengan bentuk yang sangat kompleks dengan tingkatan GUI.