

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Listrik³

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. energi mekanis ini digunakan untuk misalnya : memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompressor dan mengangkat bahan. Motor listrik juga digunakan juga dirumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) di industri. Motor listrik juga disebut “kuda kerja” industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor induksi sering disebut motor tidak serempak karena jumlah putaran motor tidak sama dengan putaran medan magnet stator. Jadi motor listrik induksi merupakan suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanis dengan menggunakan prinsip medan magnet. Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut:¹¹

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.

³ Daryanto, *Teknik Listrik Lanjutan*, Bandung : Satu Nusa, 2013, Hal. 90

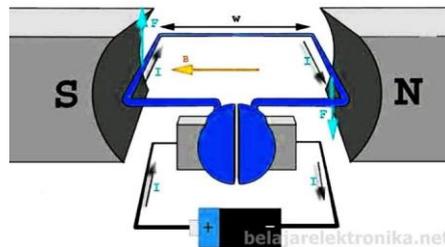
¹¹ Drs. Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Yogyakarta : Andi Offset , 1997, Hal. 310

2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor *shunt*.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC *shunt*.

2.2. Prinsip Kerja Motor Listrik⁸

Prinsip kerja dari motor listrik sangat sederhana dimana arus listrik yang ada didalam medan magnet akan memberikan gaya, kemudian kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran atau yang kerap disebut *loop* maka kedua sisi *loop* akan mendapat gaya dengan arah yang berlawanan.

Pasangan gaya ini akan menghasilkan tenaga putar atau yang biasa disebut dengan *torque*, untuk memutar koil yang ada motor memiliki beberapa *loop* pada dinamika untuk memberikan putaran yang lebih seragam yang dihasilkan oleh elektromagnetik yang disebut koil medan.



Gambar 2.1 Prinsip kerja motor listrik^[8]

2.3. Konstruksi Motor Listrik

2.3.1. Stator¹³



Gambar 2.2 stator^[13]

⁸ <http://elektronika-dasar.web.id/prinsip-kerja-dan-aliran-daya-motor-induksi/> diakses pada 27 Mei.2019 Pukul 16:45WIB

¹³ Prih Sumardjati,dkk.,*Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*, Jakarta, 2008. Hal. 409

Pada dasarnya belitan stator motor induksi tiga fasa sama dengan belitan motor sinkron. Konstruksi statornya belapis-lapis dan mempunyai alur untuk melilitkan kumparan. Stator mempunyai tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan penyambungan dengan sumber tegangan. Masing-masing kumparan stator mempunyai beberapa buah kutub, jumlah kutub ini menentukan kecepatan motor tersebut. Semakin banyak jumlah kutubnya maka putaran yang terjadi semakin rendah.

2.3.2. Rotor¹³

Motor Induksi bila ditinjau dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu rotor sangkar dan rotor lilit.

a. Rotor sangkar

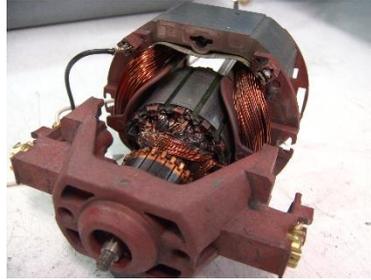


Gambar 2.3 rotor sangkar^[13]

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotorlilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau alumunium. Ujung-ujung batang penghantar dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.

¹³ Prih Sumardjati,dkk.,Op.Cit. Hal. 409

b. Rotor lilit



Gambar 2.4 rotor lilit^[13]

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi *Slipring* atau Motor Induksi Rotor Lilit.

2.3.3. *Bearing*¹⁰



Gambar 2.5 *bearing*^[10]

Bearing merupakan sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua benda yang bergerak satu sama lain yaitu poros dengan sumbu putar. Selain itu juga fungsi *bearing* sebagai tumpuan benda yang berputar.

¹⁰ <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-bearing/> diakses tanggal 23 mei 2019 pukul 10.00

2.3.4. *Housing motor*⁷



Gambar 2.6 *housing motor*^[7]

Motor housing merupakan plat besi yang umumnya berfungsi sebagai pelindung luar dari komponen yang ada didalam motor listrik. Selain itu juga, *motor housing* juga bertujuan untuk menghindari kita sebagai pengguna dari bahaya putaran motor listrik yang tinggi.

2.4. Jenis-Jenis Motor Listrik¹¹

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

2.4.1. Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron.
 - Biasa (tanpa *slipring*)
 - Super (dengan *slipring*)
2. Motor Asinkron.
 - Motor Induksi (*Squirrel Cage Rotor & Winding Rotor*)

2.4.2. Berdasarkan Macam Arus

1. Satu Phasa

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu phasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan

⁷ <https://www.autoexpose.org/2017/05/komponen-motor-listrik.html?m=1> diakses tanggal 16 juni 2019 pukul 14.15 WIB

¹¹ Drs. Yon Rijono, Op.Cit. Hal. 309

sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

2. Tiga Phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan 3 phasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dll.

2.4.3. Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan dapat diatur

2.5. Gangguan Pada Motor Listrik

Suatu motor induksi sering mengalami gangguan, baik gangguan dari motor itu sendiri maupun gangguan dari luar. Dalam kondisi kerja yang tidak normal maupun pembebanan motor yang berlebihan atau kerja motor itu yang terus-menerus tanpa berhenti, akan selalu mempengaruhi ketahanan isolasi motor itu sendiri, walaupun dirancang berdasarkan syarat-syarat yang ditentukan. Isolasi dari motor-motor induksi biasanya dirancang untuk suatu tingkatan tertentu, sedangkan arus lebih yang mungkin terjadi akibat beban lebih yang menyebabkan arus naik. Pengaruh arus ini berkaitan dengan panas dan dapat mengganggu dari ketahanan isolasi dari kawat-kawat beban motor serta mengakibatkan motor cepat terbakar. Jadi gangguan-gangguan maupun kondisi yang tidak normal selalu terjadi dan tidak dapat dihindari.

1. Gangguan fisik dari sekeliling motor

Gangguan ini berbentuk segala macam persinggungan atau juga tetesan dan semburan air, yang kesemuanya itu dapat merusak dan menimbulkan gangguan. Gangguan ini dapat diatasi dengan cara pemilihan konstruksi yang sesuai dari berbagai kerangka motor. Dan juga dengan memasang tutup pelindung tambahan agar lebih terlindungi.

2. Gangguan mekanis

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh pemasangan instalasi yang kurang baik, pelumasan dari bantalan-bantalan motor yang tidak sempurna dan merata pada semua bagian dan pemakaian perlengkapan mesin yang tidak tepat pemeliharaan yang tidak baik.

3. Gangguan operasi

Gangguan ini disebabkan pengoprasian dan pemakaian yang salah. Kesalahan tersebut berupa kesalahan operasi motor pada beban lebih dan *setting overload relay* yang tidak sesuai kemampuan motor.

4. Gangguan beban lebih

Beban kerja suatu motor listrik biasanya telah ditentukan dari pabrik pembuatnya, untuk itu perlu diperhitungkan apakah motor dapat mengangkat beban yang tersedia. Pembebanan lebih akibat muatan yang berlebih dari mekanisme yang digerakkan motor dengan mudah dapat diatasi yaitu dengan cara mengurangi muatan pada sistem mekanisme itu sendiri menjadi sebesar dalam batas ukuran motor yang digerakkannya. Apabila motor dibiarkan atau sering bekerja pada beban lebih maka akan mengakibatkan kerusakan pada isolasi kawat email belitan yang diakibatkan oleh panas. Pengaruh dari beban lebih tersebut juga dapat menyebabkan motor listrik terbakar.

5. Gangguan hubung singkat

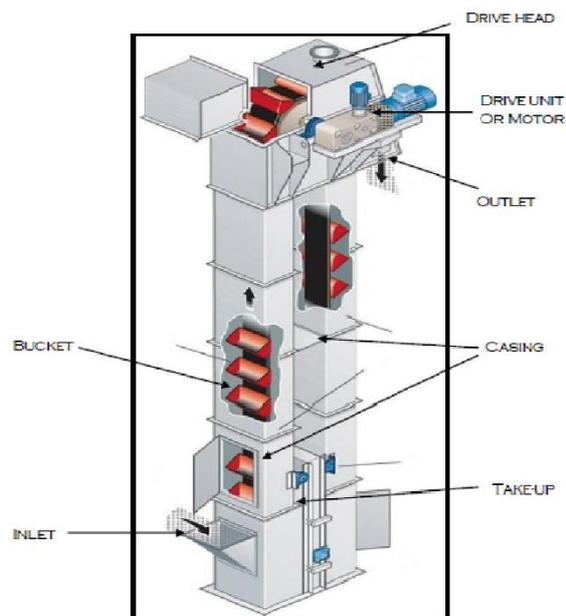
Apabila motor-motor induksi listrik beroperasi dengan salah satu fasanya terganggu, misalnya salah satu fasanya terjadi hubung singkat, maka akan mengakibatkan putusya fuse pada fasa yang terganggu tersebut dalam kondisi harga kapasitas beban lebih, motor akan cenderung menjadi berat putarannya karena pengaruh torsi (T) bertambah, yang berarti pula slip makin besar. Pengaruh torsi

bertambah maka arus akan bertambah pula bila momen maksimal motor pada kondisi ini tetap lebih besar dari momen beban, motor tetap akan bekerja namun dengan harga *slip* (S) yang besar dan arus stator dapat mencapai 1,5 sampai 2 kali arus normal.

6. Gangguan turunnya tegangan listrik

Gangguan ini akan mengurangi kemampuan momen dari motor yang mengakibatkan tenaga reaktif motor yang sehingga arus yang diberikan makin besar. Keadaan inilah yang bisa menciptakan pembebanan arus lebih pada motor yang akan mengakibatkan penurunan tegangan pada jala-jala.

2.6. *Bucket Elevator*¹⁴



Gambar 2.7 *Bucket Elevator*^[14]

Bucket elevator adalah tipe peralatan pemindah bahan yang mampu memindahkan material secara vertikal dan dapat secara efektif memindahkan material antar lantai maupun antar struktur bangunan. Sistem ini biasanya digerakkan oleh motor elektrik. Secara umum, untuk pemindahan material dalam jarak pendek, penggunaan *bucket elevator* lebih disukai dibandingkan dengan

¹⁴ Hadi sutikno, "Analisa peningkatan kapasitas bucket elevator di pelabuhan khusus PT. semen Gresik-Tuban", Skripsi UIM, Makassar, Hal. 3

belt conveyor. Untuk pemindahan material secara vertikal, *bucket elevator* lazim digunakan

Material yang akan dipindahkan melalui *bucket elevator* masuk melalui *chute* menuju timba (*bucket*) di dalam *bucket elevator*. Material kemudian diangkat oleh timba-timba menuju bagian *head* dan material di tumpahkan secara bebas menuju *chute* keluaran (*discharge chute*).

Komponen utama dari *bucket elevator* dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. *Bucket Elevator Head dan Boot*

Bagian *head* dibuat menggunakan lembaran pelat baja tebal yang diperkuat. Sambungan *cover* atas didesain mudah dibuka dan dipindahkan untuk keperluan inspeksi dan pemeliharaan drum penggerak. Ventilasi diletakkan di sisi atas dan panel untuk inspeksi ditempatkan pada ketinggian tertentu dari *outlet*. Bagian *boot* juga dibuat dari pelat baja tebal serta dilengkapi dengan pintu yang dapat dilepas menggunakan mekanisme baut untuk keperluan inspeksi dan pembersihan.

2. *Inlet dan outlet*

Bukaan didesain sedemikian rupa agar dapat dikoneksikan dengan mesin lainnya. Sisi dalam dari *chute* pada *inlet* dan *outlet* dapat dilapisi dengan material yang memiliki sifat tahan keausan.

3. *Bucket*

Secara umum, *bucket* terbuat dari bahan baja karbon, baja tahan aus, baja tahan karat, dan plastik. *Bucket* yang dibuat dari pelat baja dibentuk dan dilakukan pengelasan, selanjutnya dapat diberi perkuatan tambahan maupun bahan tahan keausan apabila hendak digunakan untuk aplikasi *heavy duty*. Desain *bucket* dapat dibuat dengan bentuk penampang persegi, "V", atau sirkular. *Bucket* tersebut dipasangkan pada *belt* atau rantai tersambung yang melingkari drum sisi atas dan bawah. *Bucket* bergerak bersamaan dengan pergerakan *belt* atau rantai.

4. *Casing*

Merupakan komponen tubuh atau penutup dari *bucket elevator* yang dibuat dalam bentuk segmen-segmen dari pelat baja dengan sambungan baut atau

pengelasan. Desain *casing* merupakan struktur yang dapat berdiri sendiri untuk keperluan pemuatan material secara vertikal. Pemasangan segmen *casing* dilakukan dengan pembautan pada *flange* dan dengan menggunakan sil pada sambungan di antara tiap segmen. Pada *casing* juga terdapat pintu dengan mekanisme baut untuk keperluan inspeksi maupun pemasangan *bucket*.

2.7. Sistem Proteksi

2.7.1. Pengertian sistem proteksi

Secara umum sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan. Rele proteksi ialah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang di gunakan dengan mengukur dan membandingkan besaran-besaran yang diterima, misalnya arus, tegangan, daya, frekuensi, dan impedansi dengan besaran yang telah di tentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi.

2.7.2. Tujuan Sistem proteksi

Gangguan pada sistem tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat dan beban lebih, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera di hilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk

melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain.

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisir (mengisolasi) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.7.3. Syarat sistem proteksi¹

Tujuan utama sistem proteksi yaitu :

1. Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan)
2. Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu :

a. Kepekaan

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun gangguan yang ada relatif kecil.

b. Keandalan

Ada tiga aspek dalam keandalan :

- *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja.

- *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus

¹ Irfan Affandi ,”Analisa setting arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang sadewa di GI cawang”, Skripsi UI, Depok, 2009, Hal. 16

berkerja, misalnya karena lokasi gangguan dari luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah berkerja, dengan lain perkataan *security*-nya harus tinggi.

- *Avialability*

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru di ketahui dan di perbaiki atau di ganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (*DC voltage*), dan memberikan alarm sehingga bisa di perbaiki, sebelumm kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar benar terjadi. Jadi *avilability* dan keandalanya tinggi.

c. Selektifitas

Yang dimaksud dengan selektif disini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk rnendapatkan keandalan yang tinggi, maka relay pengaman harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.

d. Kecepatan

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus di pisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya. Kecepatan itu penting untuk :

- Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang di lalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kesetabilan sistem

- Membatasi busur api pada gangguan di saluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (*reclosing*) dan memepersingkat interval waktu antara buka dan tutup.

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa di beri waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya.

2.8. Penyebab kegagalan sistem proteksi¹²

Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Kegagalan pada rele sendiri.
- b. Kegagalan suplai arus ke rele. Rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- b. Kegagalan sistem suplai arus daerah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- c. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun
- d. kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya. Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back Up Protection*).

2.9. Rele Proteksi

Rele proteksi merupakan susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya

¹² Hazairin Samaulah, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, 2004, Hal. 3-5

ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberikan isyarat berupa lampu tanda atau bel.

2.10. Fungsi Rele Proteksi

Tugas Rele proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut mempermudah analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal rele hanya memberikan tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan. Dari uraian diatas maka rele proteksi memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terkena gangguan.
2. Memperkecil bahaya bagi manusia.
3. Merasakan mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan bagian lain yang tidak terganggu sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
4. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu didalam sistem serta mencegah meluasnya gangguan.

2.11. Rele proteksi pada motor listrik⁹

Rele proteksi pada motor sangat variatif dan sedikit berbeda dengan dengan proteksi peralatan sistem tenaga lainnya. Hal ini disebabkan sangat variatifnya ukuran, jenis dan aplikasi motor. Proteksi sangat bergantung dari seberapa harganya motor tersebut, yang umumnya sangat erat dengan ukuran motor. Potensi bahaya yang umumnya di perhatikan antara lain:

1. Gangguan fasa dan atau tanah
2. Kerusakan termis akibat
 - Beban lebih

⁹ <http://rakhman.net/relay-proteksi-pada-motor/> Diakses pada : 12 juni 2019. 12:35 WIB

- Rotor terkunci
3. Kondisi tidak normal
- Operasi tidak seimbang
 - Tegangan lebih dan tegangan kurang
 - Pembalikan phasa
 - Penutupan balik kecepatan tinggi ketika sedang berjalan
 - Temperatur yang tidak normal
 - Urutan pengasutan tidak lengkap

Potensi diatas umumnya terjadi pada motor induksi,yang penggunaanya sangat umu dan banyak dipakai. Untuk motor-motor sinkron, potensi bahaya tambahan yang mungkin terjadi antara lain :

- a. Kehilangan eksitasi(medan)
- b. Operasi diluar sinkronisasi
- c. Kehilangan sinkronisasi

Potensi-potensi bahaya ini dapat diklasifikasikan menurut asal, sebagai berikut :

1. Pengaruh motor
 - Kegagalan isolasi
 - Kegagalan *bearing*
 - Kegagalan mekanis
 - Kehilangan medan(untuk sinkron)
2. Pengaruh beban
 - Beban lebih
3. Pengaruh lingkungan
 - Temperatur lingkungan yang tinggi
 - Temperatur kontaminasi yang tinngi
 - Tempertaur lingkungan yang terlalu dingin

4. Pengaruh sumber atau sistem
 - Kegagalan phasa
 - Tegangan lebih
 - Tegangan kurang
 - Pembalikan phasa
 - Kondisi kehilangan sinkronisasi akibat gangguan sistem
5. Pengaruh operasional
 - Siklus kerja tinggi
 - Jogging
 - Pembalikkan cepat atau plug

Dari beberapa gangguan diatas, oleh karena itu motor listrik harus dilindungi dari ancaman gangguan yang mungkin terjadi pada motor listrik tersebut. Berikut beberapa rele proteksi yang digunakan pada motor listrik:

a. Rele arus lebih

Rele arus lebih merupakan relay proteksi yang digunakan pada motor listrik yang bertujuan untuk melindungi dari gangguan hubung singkat anta fasa. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada motor. Relay arus lebih bersifat instan, jadi jika terjadi gangguan harus segera mengisolasi motor tersebut. *Overload* pada motor listrik dapat disebabkan oleh pembebanan motor yang berlebihan sehingga putaran motor listrik makin berat. Semakin berat beban motor maka konsumsi arus listrik akan semakin besar, sehingga jika dibiarkan dalam waktu yang lama akan menyebabkan panas pada belitan yang akan menyebabkan kerusakan pada belitan motor.

b. Rele *unbalance*

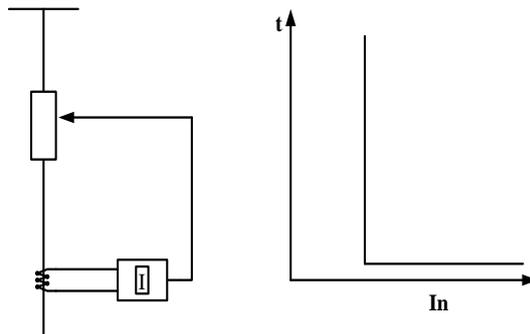
Unbalance pada motor terjadi apabila ada ketidak seimbangan arus pada fasa sumber. Kejadian ini menyebabkan timbulnya arus urutan negative yang dapat menyebabkan pemanasan pada motor.

c. Rele hubung singkat ke tanah

Rele ini bertujuan untuk mengamankan motor dari gangguan hubung singkat antar fasa dengan tanah.

2.12.1. Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time Relay*)

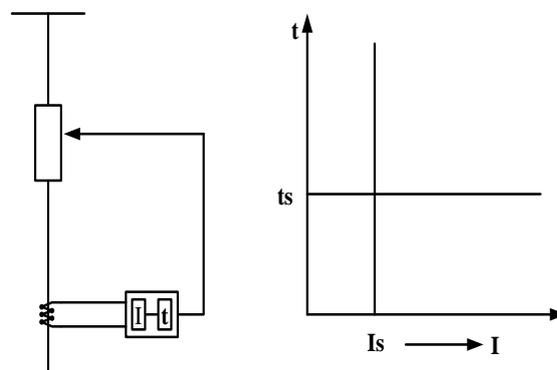
Rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 karakteristik rele waktu seketika

2.12.2. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

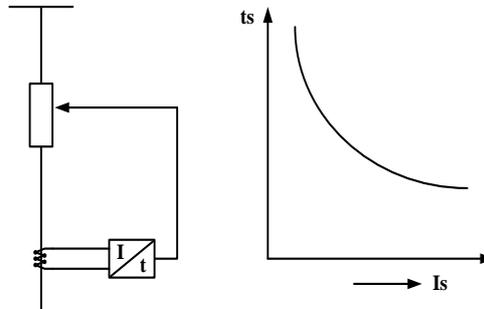
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, lihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.12.3. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Relay*)

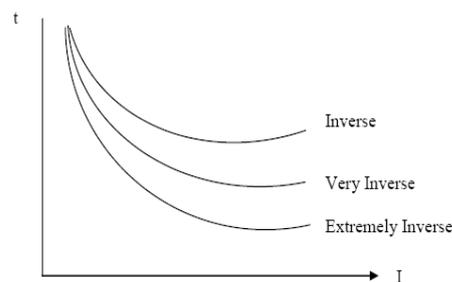
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2.11 karakteristik rele arus lebih waktu terbalik

Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

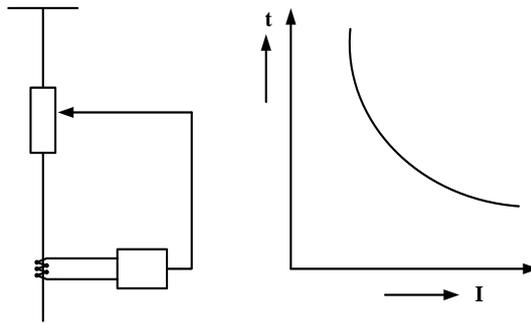
- *Standar inverse*
- *Very inverse*
- *Extreemely inverse*



Gambar 2.12 Kurva Perbandingan Waktu dan Arus *Inverse Relay*

2.12.4. Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time (IDMT)*

Rele arus lebih dengan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time (IDMT)* ialah jika jangka waktu rele arus mulai *pickup* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele *pickup* dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika



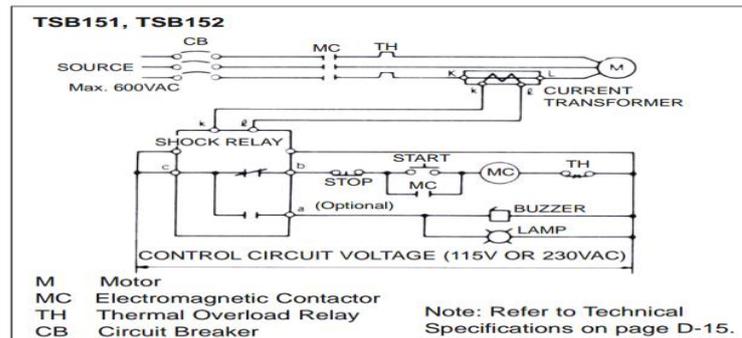
Gambar 2.13 Rele Arus Lebih IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*)

2.13. *Shock Relay*

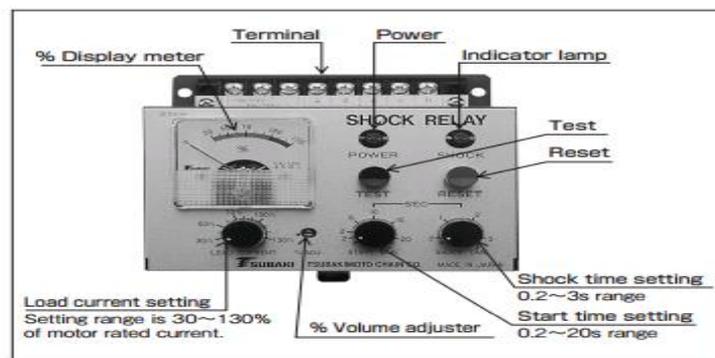
Shock relay merupakan sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk memproteksi hampir peralatan yang di gerakkan oleh motor listrik yang biasanya terdapat dalam industri yang menggunakan motor listrik sebagai penggerakannya. Oleh karena itu *shock relay* merupakan peralatan yang digunakan untuk memonitoring arus yang mengalir pada motor yang kemudian akan memutuskan aliran arus menuju rangkaian ketika terjadi arus lebih pada motor listrik. Ketika setting arus dan setting waktu telah tercapai maka *shock relay* akan trip dengan memutuskan aliran arus menuju rangkaian.



Gambar 2.14 *Shock Relay*^[15]



Gambar 2.15 Diagram Pengawatan *Shock Relay*^[15]



Gambar.2.16 Bagian - bagian *Shock Relay*^[15]

Bagian - bagian *Shock Relay* dan Fungsinya¹⁵

a. *Display Meter*

Merupakan layar monitor yang menunjukkan persentase arus pada saat motor bekerja

b. *Load Current Setting*

Merupakan tombol yang digunakan untuk mengatur/menyetting batas arus apabila terjadi arus lebih. *Shock Relay* akan memutus rangkaian apabila arus yang terbaca melebihi dari arus *setting* ini.

c. *Start time setting*

Merupakan setting waktu pada saat motor *start* awal.

¹⁵ Tsubakimoto chain co. *Instruksi manual shock relay TSB152.*

d. Shock Time Setting

Merupakan *Setting* Waktu pada saat motor bekerja. *Shock relay* akan memutus rangkaian apabila terjadi arus lebih yang melampaui *setting* waktu ini.

e. Terminal

Penghubung antara rangkaian motor dengan *Shock Relay* itu sendiri

f. Power Indicator

Lampu yang menjadi petunjuk / indikator kalau *Shock Relay* menyala.

g. Shock Indicator

Indikator yang menunjukkan pada saat *Shock Relay* bekerja / trip.

h. Test Button

Tombol untuk menguji kerja dari *Shock Relay*

i. Reset Button

Tombol untuk mereset kembali apabila *Shock Relay Trip* / bekerja.

2.14. Arus masukkan motor

Daya *output* atau keluaran motor dapat diketahui dari *nameplate* yang terdapat pada motor. Sedangkan untuk mencari arus input motor maka kita harus mengetahui berapa tegangan operasi pada motor, faktor daya . Untuk menghitung arus *input* motor dapat dihitung menggunakan rumus :

$$I_{input} = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

I_{input} = Arus masukan pada motor (Ampere)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

P_{out} = Daya *output* motor (Watt)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

2.15. Daya masukkan motor

Setelah mendapatkan nilai besarnya arus masukkan pada motor, maka nilai daya masukkan pada motor dapat dicari rumus:

$$P_{in} = V \times I_{input} \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

P_{in} = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

I_{input} = Arus masukan pada motor (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

2.16. Arus nominal pada motor⁴

Arus nominal merupakan arus maksimum yang diterima oleh motor pada saat bekerja. Untuk menghitung arus nominal motor dapat dihitung menggunakan rumus :

$$I_{nominal} = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$I_{nominal}$ = Arus nominal motor (Ampere)

P_{in} = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

2.17. Arus gangguan motor¹⁵

shock relay akan bekerja ketika terjadi gangguan berupa arus lebih pada motor. Untuk menghitung arus gangguan pada motor dapat dihitung menggunakan rumus :

⁴ Aditya Erlangga, "Proteksi arus lebih pada motor pompa sentrifugal menggunakan rele arus lebih", Laporan Akhir, POLSRI, Palembang, 2016, Hal. 47-48

¹⁵ Tsubakimoto chain co. *Instruksi manual shock relay TSB152.*

$$I_{Fault} = I_{nominal} \times \text{range maksimum} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana

I_{Fault} : Arus gangguan (Ampere)

$I_{nominal}$: Arus nominal (Ampere)

Range maksimum : Range maksimal *setting* arus pada *shock relay*

2.18. Arus *setting*⁵

Setelah didapat besarnya arus gangguan dan arus nominal maka harus dicari arus *setting* untuk pengamanan motor yang digunakan. Besar arus *setting* yang digunakan untuk pengamanan motor dapat dihitung sesuai dengan standar IEEE C37.96-2000 yang dimana rele beban lebih tipe *thermal* disetel maksimal 125% dari arus motor.

$$I_s = I_{nominal} \times 125\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

I_s = Arus *Setting* (Ampere)

I_n = Arus Nominal (Ampere)

2.19. Waktu *setting*⁶

Untuk melakukan penyetelan waktu trip pada *shock relay* menggunakan kurva arus lebih yang memiliki waktu tunda untuk trip ketika terjadi gangguan arus lebih yang melaluinya. Untuk mencari besarnya waktu waktu dapat dicari dengan persamaan.

$$\text{Faktor } k = 10$$

$$t_{ms} = k \times 0,01$$

⁵ Gardel, Jonathan D dkk, "IEEE std C37.96-2000- IEE Guide For AC Motor Protection" IEEE-SA standard board USA 2000.

⁶ Ade wahyu hidayat, dkk, "Analisa *setting* arus lebih dan relai gangguan tanah pada penyulang topan gardu induk teluk betung", Skripsi UNILA, Lampung, 2012 Hal. 113

$$T_s = \frac{k \times t_{ms}}{\left[\frac{i_f}{i_s} \right]^{\alpha} - 1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana

T_s : Waktu *trip* (S)

K, α : Konstanta standar IEC

I_s : Arus *setting* (Ampere)

I_F : Arus gangguan(Ampere)

t_{ms} : Faktor perkalian waktu

Nilai konstanta standar IEC berbeda-beda sesuai dengan klasifikasinya.

Untuk konstanta standar IEC bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Konstanta Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1
<i>Long Time Inverse</i>	120	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5

2.20. Matlab²

Matlab adalah singkatan dari *matrix laboratory*, dimana *Matlab* merupakan sebuah *software* untuk komputasi teknis dan saintifik. *Matlab* merupakan integrasi komputasi, visualisasi dan pemrograman yang mudah digunakan.

Matlab merupakan suatu sistem interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu *array* sehingga pengguna tidak lagi dipusingkan dengan masalah dimensi. Hal ini memungkinkan kita untuk bisa memecahkan banyak masalah teknis yang terkait dengan komputasi, khususnya yang berhubungan dengan formula vektor, yang mana masalah tersebut akan cukup susah jika harus diselesaikan dengan menggunakan bahasa seperti *Pascal*, dan *Basic*. Sehingga *Matlab* dapat digunakan sebagai :

- Kalkulator
Ketika bertindak sebagai kalkulator, *Matlab* memberikan hasil seketika setelah perintah operasinya diberikan.
- Bahasa pemrograman
Perintah - perintah operasi dengan urutan dan logika tertentu, serta digunakan berulang - ulang dapat dibuat sebagai suatu program yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Sebagai kalkulator, *Matlab* mempunyai berbagai fungsi umum yang penting untuk matematika, teknik dan ilmu pengetahuan. Sebagai tambahan atas fungsi-fungsi tersebut, *Matlab* menyediakan ratusan fungsi lainnya yang berguna untuk menyelesaikan masalah tertentu. Beberapa fungsi matematis yang tersedia antara lain fungsi trigonometri, fungsi eksponensial dan fungsi pembulatan.

Data-data dan variabel yang dibuat dalam *command windows* tersimpan dalam *workspace Matlab*. Suatu runtun data yang banyak, sulit untuk diperiksa hanya dengan mengamati angka - angka yang ditampilkan oleh karena itu penampilan data dalam bentuk grafik dapat memudahkan analisis.

² Wahyu Caesarendra, *Panduan Belajar Matlab Mandiri*, 2016

2.19.1. Bagian pada sistem matlab

Sebagai sebuah aplikasi, *Matlab* tersusun dari 5 bagian utama:

1. *Development Environment*.

Merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu anda untuk menggunakan fungsi-fungsi dan file-file *Matlab*. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah *graphical user interfaces* (GUI). Termasuk didalamnya adalah *Matlab desktop* dan *Command Window*, *command history*, sebuah *editor* dan *debugger*, dan *browsers* untuk melihat *help*, *workspace*, *files*, dan *search path*.

2. *Matlab Mathematical Function Library*.

Merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: *sum*, *sin*, *cos*, dan *complex arithmetic*, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti *matrix inverse*, *matrix eigenvalues*, *Bessel functions*, dan *fast Fourier transforms*.

3. *Matlab Language*.

Merupakan suatu *high-level matrix/array language* dengan *control flow statements*, *functions*, *data structures*, *input/output*, dan fitur-fitur *object-oriented programming*. Ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik "pemrograman dalam lingkup sederhana " untuk mendapatkan hasil yang cepat, dan "pemrograman dalam lingkup yang lebih besar" untuk memperoleh hasil-hasil dan aplikasi yang kompleks.

4. *Graphic*.

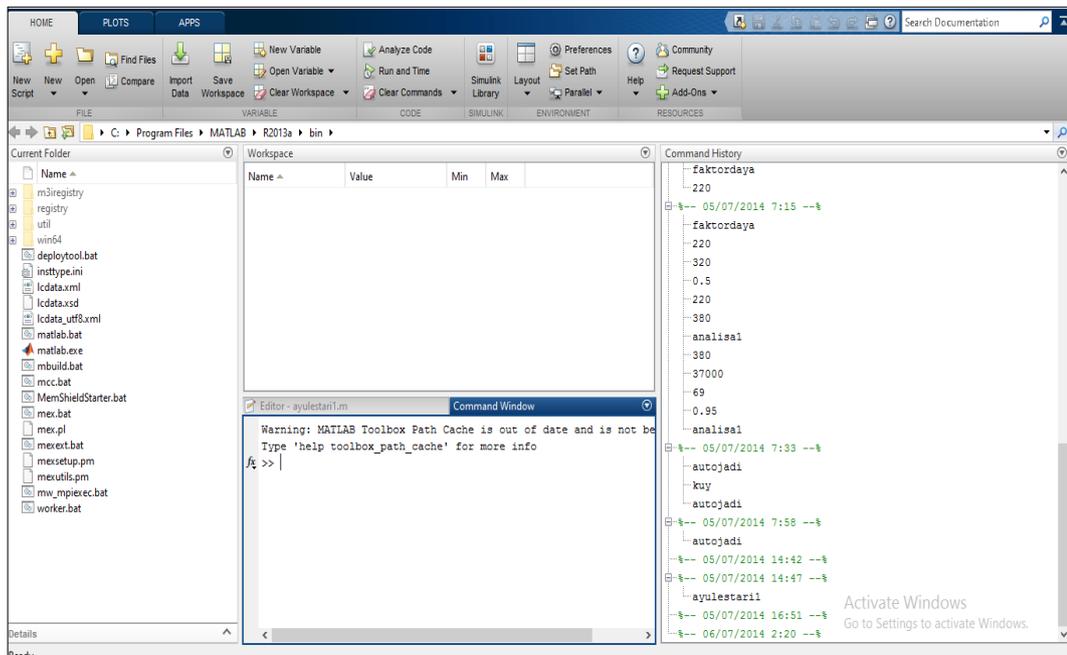
Matlab memiliki fasilitas untuk menampilkan bilangan *vector* dan bilangan *matriks* sebagai suatu grafik. Didalamnya melibatkan *high-level functions* (fungsi-fungsi level tinggi) untuk *visualisasi* data dua dimensi dan data tiga dimensi, *image processing*, *animation*, dan *presentation graphics*. Ini juga melibatkan fungsi *level* rendah yang memungkinkan bagi anda untuk membiasakan diri untuk memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan tingkatan *graphical user interfaces* pada aplikasi *Matlab* anda.

5. Matlab Application Program Interface (API).

Merupakan suatu *library* yang memungkinkan program yang telah anda tulis dalam bahasa C dan *Fortran* mampu berinteraksi dengan *Matlab*. Ini melibatkan fasilitas untuk pemanggilan routines dari *Matlab* (*dynamic linking*), pemanggilan *Matlab* sebagai sebuah *computational engine*, dan untuk membaca dan menuliskan *MAT-files*.

2.19.2. Menu pada matlab

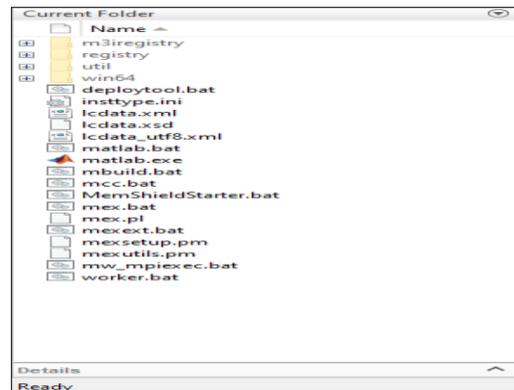
Pada antar muka awal *Matlab* tersebut terdapat 3 (tiga) jendela utama yaitu jendela *Current Directory*, *Command Window* dan *Command History*.



Gambar 2.17 Tampilan awal Matlab^[2]

1. Current Folder

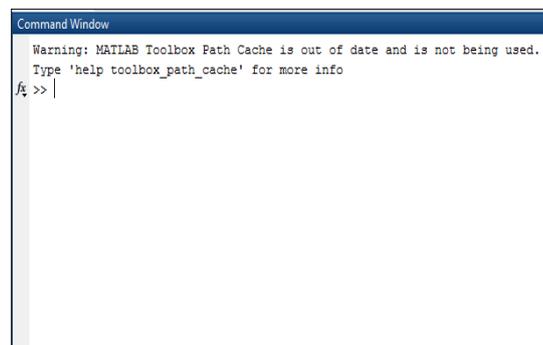
Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan *Matlab*. Kita dapat mengganti *direktori* ini sesuai dengan tempat *direktori* kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat *direktori* berada dalam *folder works* tempat program *files Matlab* berada.



Gambar 2.18 Tampilan *Current Folder*^[2]

2. *Command Window*

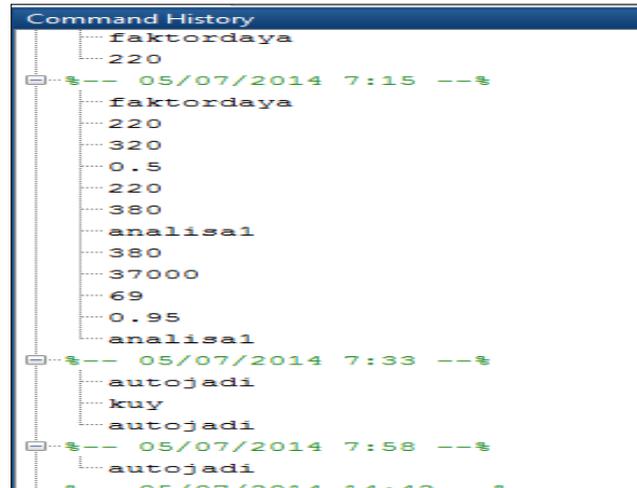
Window ini adalah *window* utama dari *Matlab*, digunakan untuk memasukkan perintah program (*command*) yang akan dieksekusi. *Command Window* merupakan jendela yang berfungsi untuk menuliskan serangkaian intruksi. Tanda `>>` pada *Command Window* merupakan penanda baris intruksi.



Gambar 2.19 Tampilan *Command Window*^[2]

3. *Command History*

Command History digunakan untuk melihat perintah program (*command*) yang berfungsi untuk merekam intruksi-intruksi yang pernah dituliskan di *Command Window*.



```

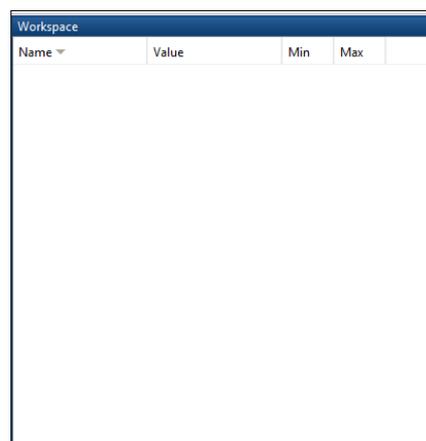
Command History
-----
faktordaya
220
$ 05/07/2014 7:15 --$
faktordaya
220
320
0.5
220
380
analisa1
380
37000
69
0.95
analisa1
$ 05/07/2014 7:33 --$
autojadi
kuy
autojadi
$ 05/07/2014 7:58 --$
autojadi
$ 05/07/2014 14:42 --$

```

Gambar 2.20 Tampilan *Command History*^[2]

4. *Workspace*

Berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian *Matlab*. Apabila variabel berupa data *matriks* berukuran besar maka *user* dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double klik* pada variabel tersebut. *Matlab* secara otomatis akan menampilkan *window* “*array editor*” yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih *user*.



Gambar 2.21 Tampilan *Workspace*^[2]

4. *Getting Help*

Matlab menyediakan fungsi *help* yang tidak berisikan tutorial lengkap mengenai *Matlab* dan segala keunggulannya. *User* dapat menjalankan fungsi ini dengan menekan tombol pada *toolbar* atau menulis perintah „*helpwin*“ pada *command window*. *Matlab* juga menyediakan fungsi *demos* yang berisikan video tutorial *Matlab* serta contoh-contoh program yang bisa dibuat dengan *Matlab*.

5. *Interrupting dan Terminating dalam Matlab*

Untuk menghentikan proses yang sedang berjalan pada *Matlab* dapat dilakukan dengan menekan tombol *Ctrl-C*. Sedangkan untuk keluar dari *Matlab* dapat dilakukan dengan menuliskan perintah *exit* atau *quit* pada *comamnd window* atau dengan menekan menu *exit* pada bagian menu *file* dari menu *bar*.

6. *Function*

Function adalah kata kunci yang digunakan untuk mendefinisikan prosedur pada *Matlab*. Fungsi dapat menerima input berupa berbagai parameter dan mengeluarkan *output* berupa *matriks*, *string*, *graf* atau *figure*. Beberapa contoh fungsi yang terdapat pada *Matlab* seperti *sin*, *imread*, *imclose* dan lain-lain.