

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah. Bentuk gambaran motor induksi 3-fasa diperlihatkan pada gambar 2.1,



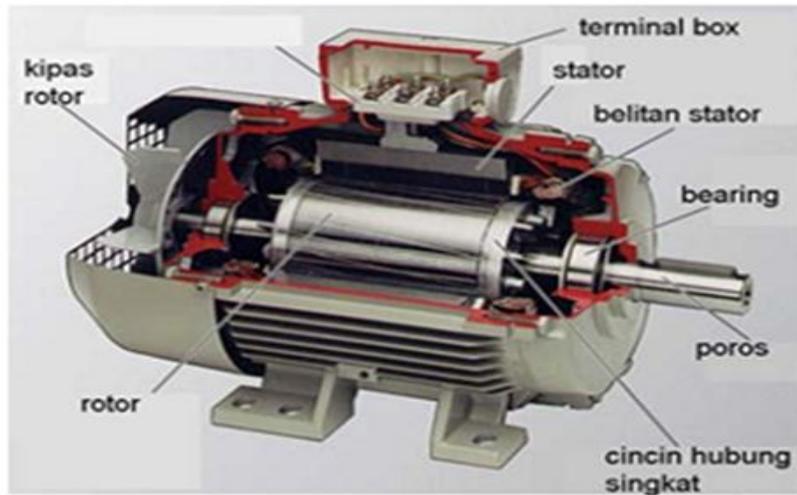
Bentuk Fisik Luar Motor Induksi



Bentuk Fisik Di Dalam Motor Induksi

Gambar 2.1 Motor induksi 3-fasa

2.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 2.2 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Secara ringkas stator terdiri dari blok - blok dynamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blok yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur - alur. Didalam alu ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga phasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silicon tebalnya 0,35 - 0,5 mm, tersusun rapi, masing - masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung - ujungnya. Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar stator lebih dari 1 m.

Bagian motor dengan garis tengah yang besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung - sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 - 0,75 mm. Pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan

transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (*belt*) atau beban yang tergantung tersebut akan mengakibatkan sumbu motor melengkung.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan motor mesin tak serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada motor mesin tak serempak yang dipasang sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari pelat - pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur - alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapat suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut muncul flux magnet putar. Dan mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

2.2.1 Stator (Bagian Motor Yang Diam)

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari palt - plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur - alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan tersebut akan timbul flux medan putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

Dari bagian stator dapat diibagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

a. Bodi motor (gandar)

b. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

c. Sikat

d. Komutator

e. Lilitan jangka

a. Body motor (frame)

Fungsi utama dari body atau frame sebagai bagian dari tempat mengalirnya flux magnet yang dihasilkan kutub -kutub magnet, karena itu badan motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat - alat tertentu dan melindungi bagian - Bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

b. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

c. Sikat- sikat dan pemegang sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari pada komutator, biasanya terbuat dari bahan arang. Sikat - sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang, aus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang - sikat). Bagian puncak dari sikat diberi gagang tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Bila sikat - sikat terdapat pada kedudukan yang benar maka baut harus dikuatkan sepenuhnya, hal ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Sedangkan tiap - tiap

gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan sikat melalui suatu system tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

d. Komutator

Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik yang bersama - sama dengan sikat membuat suatu kerja sama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakanhendaknya dalam jumlah yang besar. Setiap belahan (*segmen*) komutator berbentuk lempengan. Disamping penyearah mekanik maka komutator berfungsi juga untuk mengumpulkan ggl induksi yang terbentuk pada sisi - sisi kumparan. Oleh karena itu komutator dibuat dari bahan konduktor, dalam hal ini digunakan dalam campuran tembaga

2.2.2 Rotor (Bagian Motor Yang Bergerak)

Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala - jala.

Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar - penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju bagi arus rotor dan searah dengan hokum yang berlaku yaitu hokum lenz.

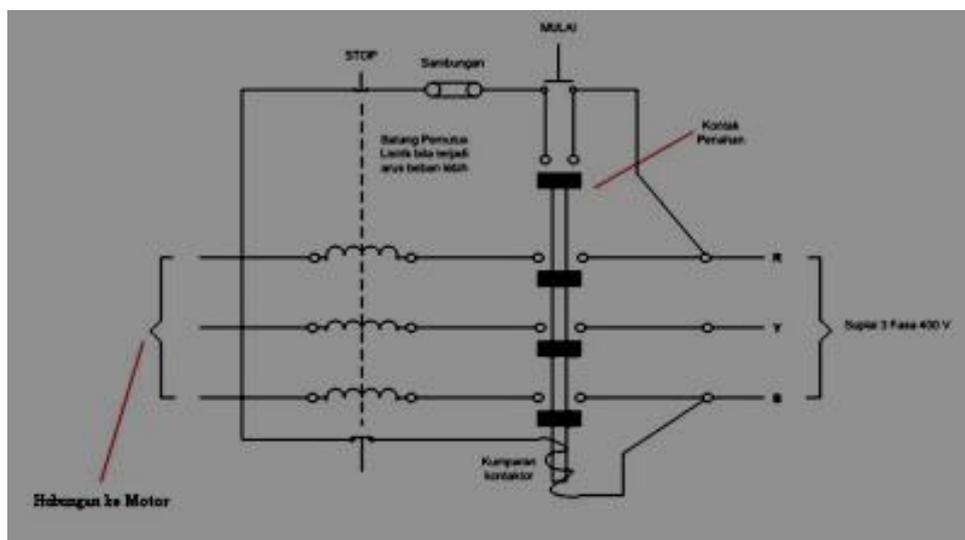
Dalam hal ini arus rotor ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatanyang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yangdiam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator.

2.3 Penghasutan motor induksi 3 fasa

Beberapa jenis pengasut motor yang umum digunakan adalah:

- **Pengasut Langsung (*Direct On Line*)**

Rangkaian untuk pengasut langsung DOL (*Direct On Line*) akan memutus atau menghubungkan suplai utama ke motor secara langsung. Karena arus pengasutan motor dapat mencapai tujuh / delapan kali lebih besar dari arus kondisi normal, maka pengasut langsung ini hanya digunakan untuk motor-motor kecil dengan daya kurang dari 5 kW.



Gambar 2.3 Struktur rangkaian starting DOL

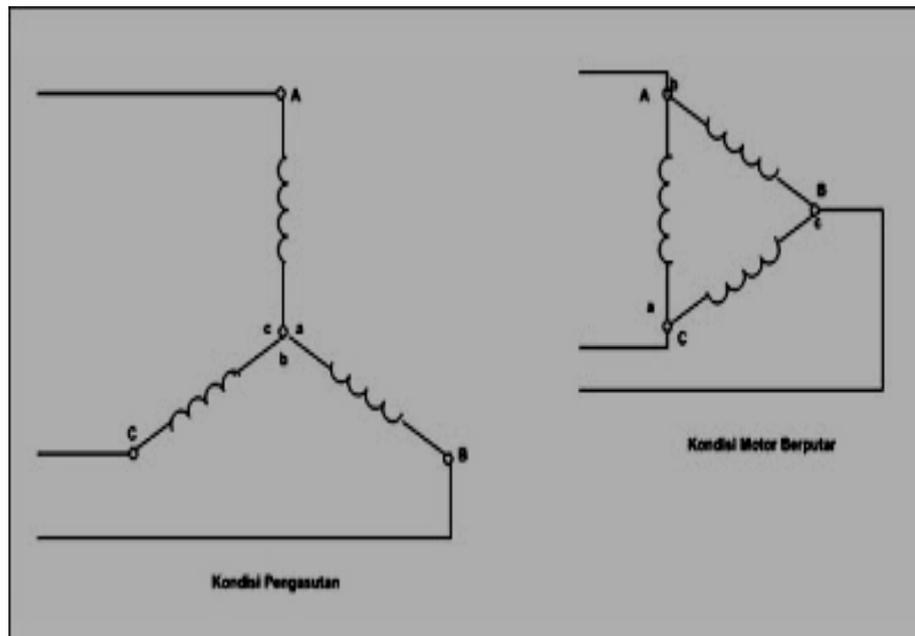
Rangkaian pengasut langsung ini ditunjukkan oleh gambar. Jika tombol mulai (Start) ditekan maka arus akan mengalir dari fasa merah (R) melalui rangkaian kendali dan kumparan kontaktor ke fasa biru. Arus ini akan mengaktifkan kumparan kontaktor sehingga kontaktor akan menutup untuk menghubungkan suplai 3 fasa ke motor. Jika tombol mulai dilepaskan rangkaian kendali akan tetap dipertahankan seperti semula melalui sebuah kontak penahan. Jika selanjutnya tombol berhenti (stop) ditekan atau jika kumparan-kumparan beban lebih bekerja maka rangkaian kendali akan terputus dan kontaktor akan membuka untuk memutuskan suplai listrik 3 fasa ke motor. Penghubungan kembali suplai ke motor hanya dapat dilakukan dengan menekan kembali tombol

mulai, jadi rangkaian ini juga dapat memberi proteksi terhadap kehilangan tegangan suplai.

- **Pengasutan Bintang Delta**

Untuk 3 buah beban, misalnya belitan-belitan dari otor 3 fasa, dihubungkan dalam hubungan bintang, maka arus saluran akan bernilai sepertiga dari nilai yang dimiliki jika beban yang sama dihubungkan dalam hubungan delta, sebuah pengasut yang mula-mula dapat menghubungkan belitan-belitan motor dalam hubungan bintang & kemudian mengubahnya dalam hubungan delta akan dapat mengurangi arus lebih pengasutan. Susunan rangkaian untuk pengasutan bintang delta (star delta) ini diperlihatkan pada gambar. Untuk kondisi pengasutan, belitan-belitan motor dihubungkan dalam hubungan bintang pada titik a-b-c dari ujung-ujung belitan melalui sebuah kontaktor pembentuk hubungan bintang.

Hal ini akan dapat mengurangi besarnya tegangan fasa sebesar 58 % dari tegangan kerja motor dalam kondisi berputar normal serta mengurangi arus & besarnya torsi motor. Jika motor telah berputar maka sebuah saklar ganda akan mengubah hubungan belitan motor dari hubungan bintang ke hubungan delta sehingga dapat diperoleh arus asut minimum dan torsi motor dalam kondisi berputar yang maksimum. Pengasut motor ini harus juga dengan peralatan proteksi beban lebih serta proteksi terhadap terjadinya kehilangan tegangan, walaupun pada gambar peralatan proteksi tidak ditunjukkan.



Gambar 2.4 Struktur rangkaian bintang-segitiga motor induksi 3 fasa

2.3.1 Motor Induksi Rotor Sangkar

Motor induksi rotor sangkar memiliki konstruksi yang sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksinya dari inti berlapis dengan konduktor dipasang parallel atau kira-kira parallel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara ilmiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil dari konduktor rotor. Batang rotor dan cincin ujung sangkar yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas ditempatkan parallel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai yang terlihat pada gambar, konstruksi rotor jenis ini sangat sederhana jika dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik

lainnya. Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan. Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan autotransformator atau saklar Y –D. Tetapi berkurangnya arus akan mengakibatkan berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini digunakan rotor jenis sangkar ganda.

2.3.2 Torsi Motor Induksi Tiga Fasa

Torsi induksi τ_{ind} yang terdapat pada sebuah mesin didefinisikan sebagai torsi yang dibangkitkan oleh konversi internal listrik ke mekanik. Torsi induksi ini diberikan oleh persamaan :

$$\tau_{ind} = \frac{P_m}{\omega_m} \dots\dots\dots (2.1)$$

P_m = daya yang dikonversikan dari bentuk listrik ke mekanik (Watt)

dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) dan diketahui bahwa $\omega_m = (1-s)\omega_s$, maka dapat kita peroleh bentuk persamaan torsi induksi yang lain, yaitu :

$$\tau_{ind} = \frac{(1-s)P_{AG}}{(1-s)\omega_s}$$

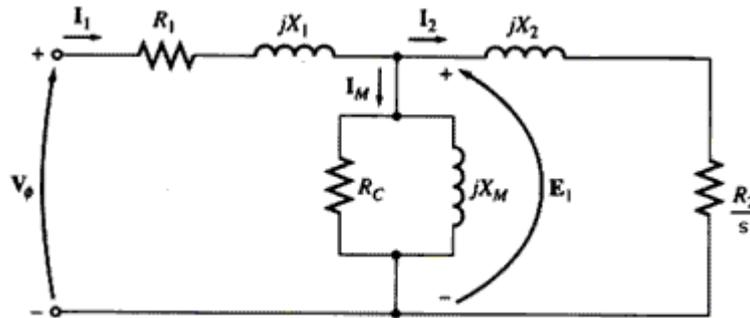
$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana,

- P_{AG} = daya celah udara (Watt)
- ω_m = kecepatan sudut rotor (rad/s)
- ω_s = kecepatan sudut medan putar (rad/s)

Persamaan 2.2 sangatlah berguna, karena kecepatan sudut medan putar (sinkron) adalah konstan untuk suatu nilai frekuensi dan jumlah kutub. Sehingga, dengan mengetahui daya celah udara P_{AG} dapat kita peroleh nilai torsi induksi motor. Daya celah udara P_{AG} adalah daya yang menyebrangi celah dari rangkaian stator ke rangkaian rotor. Daya ini sama dengan daya yang diserap

pada temuan, maka daya daya celah udara dan torsi induksi akan dapat diketahui.

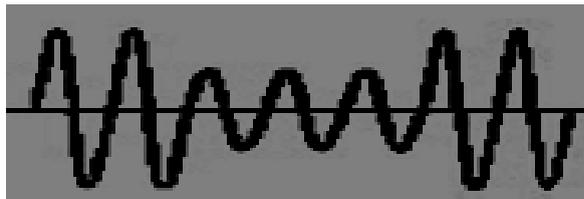


Gambar 2.5. Rangkaian Ekivalen per-Fasa Motor Induksi 3 Fasa

- R1 : Resitans atau hambatan atau tahanan kumparan stator dalam ohm (A) perfase.
- R2 : Resistans/tahanan/hambatan dari kumparan rotordalam ohm (Q) perfase
- X1 : Reaktansi kumparan stator dalam ohm
- X2 : Reaktansi kumparan rotor dalam ohm
- Rc : Tahanan inti besi
- Xm : Reaktansi rangkaian penguat dalam ohm / perphasa
- I1 : Arus yang mengalir pada kumparan stator bila motor tidak berbeban (beban nol dalam Amper perphasa)
- I2 : Arus rotor yang berpatokan pada stator

2.4. Tegangan Jatuh Sesaat (Kedip Tegangan)

Pada sistem tenaga listrik, jaringan distribusi merupakan salah satu bagian penyaluran tenaga listrik dari gardu induk sampai pada konsumen tenaga listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit umumnya dinaikkan menjadi 70 kV, 150 kV, 500 kV yang kemudian akan diturunkan di gardu induk menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer yaitu 20 kV. Kemudian tegangan distribusi primer ini akan diturunkan dalam gardu -Gardu distribusi mejadi tegangan rendah yaitu 380/220 Volt, yang selanjutnya disalurkan ke konsumen. Kedip tegangan didefinisikan sebagai penurunan nilai tegangan efektif (rms) antara 0.1 sampai 0.9 per unit selama periode waktu 0,5 *second* sampai dengan satu menit.



Gambar 2.6 kedip tegangan

Pada umumnya kedip tegangan selalu dikaitkan dengan adanya gangguan pada sistem akan tetapi kedip tegangan tidak hanya terjadi dikarenakan adanya gangguan pada sistem, kedip tegangan juga dapat terjadi dikarenakan adanya starting motor berkapasitas besar dan pembebanan yang sangat besar. Oleh karena itu, kedip tegangan merupakan permasalahan yang sangat penting dalam menjaga kualitas daya yang akan disalurkan kepada konsumen. Dalam sistem tenaga, kedip tegangan pada umumnya terjadi dikarenakan adanya gangguan hubung singkat pada sistem. Gangguan hubung singkat pada penyulang distribusi radial menyebabkan terjadinya kedip tegangan pada busbar gardu induk. Kedip tegangan ini akan dirasakan oleh pelanggan yang disuplai dari ransformator tegangan menengah maupun tegangan rendah yang sama.

Sebuah dip tegangan juga dapat diartikan gangguan elektromagnetik multidimensi, yang tingkatnya ditentukan oleh besarnya kedip tegangan dan durasi kedip tegangan. Besarnya kedip tegangan adalah nilai kedalaman tegangan ketika berada dibawah ambang batas normal. Sedangkan durasi kedip tegangan adalah lamanya waktu penurunan tegangan ketika tegangan rms berada dibawah ambang batas normal.

2.4.1 Penyebab Tegangan Dip

Tegangan dip dapat disebabkan oleh hal – hal sebagai berikut :

- Secara umum disebabkan oleh gangguan pada sistem seperti gangguan hubung singkat.
- Pembebanan yang besar atau pengasutan motor berkapasitas besar.
- Kecelakaan saat perbaikan dalam keadaan bertegangan, Lightning (petir) dan pohon tumbang yang menyebabkan gangguan ke tanah
- Perubahan beban yang berlebihan / diluar batas dari kemampuan sistem daya.

Salah satu penyebab terjadinya Voltage Sag disebabkan karena gangguan pada sistem (seperti gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, petir yang menyambar kawat listrik, kecelakaan saat perbaikan dalam keadaan bertegangan) yang terjadi pada lokasi yang jauh, kegagalan pada salah satu *feeder parallel* dan starting motor dengan kapasitas besar.

Umumnya sistem kelistrikan menyalurkan energi listrik dari beberapa sumber (pembangkit-pembangkit listrik) menuju beberapa beban (motor, penerangan, pemanas, dsb). Keseluruhan sistem, termasuk generator, beban, dan apapun yang berada di antara keduanya, merupakan sistem tunggal yang menyeluruh dan dinamis, dimana adanya perubahan tegangan, arus, maupun impedansi yang instan pada suatu titik akan menyebabkan perubahan pada setiap titik lain dalam sistem tersebut.

Sistem penyuplai umumnya tiga-fasa. Hubung singkat dapat terjadi antar-fasa, fasa dan netral, dan fasa dengan bumi (earth). Beberapa fasa dapat terlibat ketika terjadi hubung singkat. Pada titik hubung singkat, tegangan menjadi nol. Secara bersamaan, tegangan pada setiap titik dalam sistem terkait turun bahkan ikut menjadi nol.

Sistem penyuplai dilengkapi dengan peralatan proteksi yang berguna untuk memutuskan hubung singkat dari sumber energi. Segera setelah hubung singkat tersebut diputus, pemulihan tegangan dapat langsung terjadi, kira-kira mencapai nilai awalnya, pada setiap titik kecuali di titik yang diputus tersebut. Beberapa gangguan dapat hilang dengan sendirinya, hubung singkat hilang dan tegangan pulih sebelum pemutusan terjadi.

Penurunan tegangan yang terjadi tiba-tiba, kemudian dilanjutkan dengan pemulihan tegangan, seperti telah dijelaskan sebelumnya, dikenal sebagai kedip tegangan.

Switching beban-beban yang besar, energizing transformator, starting motor-motor besar dan fluaktuasi magnitude tinggi dari beberapa beban dapat menghasilkan perubahan arus, yang nilainya dapat dikatakan sama dengan arus yang diakibatkan oleh hubung singkat. Walaupun efek buruknya secara umum tidak lebih parah, perubahan tegangan (atau/dan arus) pada beberapa kejadian menghasilkan efek yang tidak dapat dibedakan jika dibandingkan dengan efek akibat hubung singkat. Dalam hal ini, perubahan tegangan dapat juga dikategorikan sebagai kedip tegangan (dalam manajemen jaringan publik, pembatasan perubahan tegangan (dan/atau arus) diberlakukan hingga suatu nilai yang diijinkan)

Karena suplai dan kabel (penyalur) dalam suatu instalasi dirancang untuk beroperasi pada arus normal, tingginya arus mula menyebabkan drop tegangan baik itu di jaringan maupun pembangkit. Kedip tegangan yang disebabkan oleh arus mula dikarakteristikan memiliki kedip yang lebih kecil namun lebih lama (satu hingga beberapa/puluhan detik) dibanding kedip akibat gangguan di jaringan (kurang dari satu detik)

2.4.2 Akibat Dari Tegangan Dip

Tegangan dip berpengaruh besar pada konsumen dengan beban listrik terutama peralatan elektronik yang sensitif terhadap perubahan tegangan. Tegangan dip ini dapat mempengaruhi operasi beban listrik sebelum CB bekerja untuk memadamkan gangguan. Dalam hal saluran yang dilengkapi dengan recloser, maka dapat terjadi beberapa kali tegangan dip sesuai waktusetting, sedangkan durasi waktu tegangan dip yang disebabkan oleh pengasutan motor berkapasitas besar biasanya lebih lama, tetapi amplitudo tegangan dip tidak terlalu besar dan tidak cukup berpengaruh untuk menyebabkan peralatan listrik gagal operasi. Akibat dari tegangan dip oleh karena gangguan hubung singkat adalah sebagai berikut :

- Komputer dan jenis lain dari kontrol elektronik dapat kehilangan memori dan proses yang dikontrol menjadi kacau, jika tegangan dip mencapai kurang dari 50%
- Pada industri, proses akan berhenti untuk tegangan dip sampai dengan 65 % dan penerangan akan berkedip. Karakteristik operasi beberapa peralatan listrik terhadap variasi tegangan adalah sebagai berikut :-Rangkaian relai dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70 % tegangan nominal untuk waktu yang cepat.
- Lampu *Flourescent* dan lampu discharge intensitas tinggi (HID) akan padam pada tegangan dibawah 80 % dalam waktu beberapa *cycle*, sedangkan waktu penyalaan kembali memerlukan waktu yang cukup lama terutama lampu HID.

- PLC akan trip pada tegangan kurang dari 90 % untuk waktu kurang dari 50 mdetik. -Pada pemrosesan data atau komputer, data akan langsung hilang bila tegangan dibawah 50 % untuk waktu beberapa *cycle*.

Kedip tegangan walaupun hanya sepersekian detik tapi sangat berdampak pada sektor industri. Misalnya komputer yang tiba-tiba `restart` dan program rusak sehingga menurunkan produktivitas perusahaana

2.4.3. Efek kedip tegangan pada peralatan elektronik

Peralatan elektronik membutuhkan lebih banyak devais kontrol dibanding kebanyakan jenis beban lainnya. Hal ini terutama berlaku untuk tegangan input. Jika tegangan catu daya bervariasi di luar spesifikasi peralatan, permasalahan dapat terjadi.

Mengingat kembali bahwa kedip tegangan tidak sekedar perubahan magnitud rms, namun juga pergantian diskrit periode waktu. Interval waktu ini penting dalam hal penentuan limit tegangan yang diperbolehkan.

Hal yang mendasar dibalik gejala-gejala terkait dengan kedip tegang adalah berapa banyak energi yang disalurkan ke dalam penyalur daya. Jika energi (daya) yang tersedia tidak mencukupi akibat kedip tegangan, maka tegangan DC yang digunakan akan drop. Jika hal ini terjadi, peralatan akan shut down, terkunci atau data-datanya akan kacau. Jika shutdown, maka peralatan biasanya akan restart segera setelah energi yang cukup tersedia.

Di lain pihak, jika terlalu banyak energi masuk catu daya yang disebabkan oleh kelebihan tegangan, hal ini dapat menimbulkan bahaya. Gagalnya (panas/pecah/terbakar dsb) catu daya akibat kelebihan energi merupakan hal yang paling umum terjadi jika tegangan berlebih. Jelas, jika catu daya gagal maka keseluruhan peralatan akan rusak.

2.4.4. Efek kedip tegangan terhadap motor listrik

Motor listrik sangat toleran terhadap kedip dan kelebihan tegangan. Kecuali magnitude rmsnya sangat rendah atau sangat kecil, motor pada umumnya hanya bereaksi sedikit terhadap perubahan tegangan. Perhatikan bahwa jika motor dikendalikan oleh kontrol elektronik, maka hal di atas harus didiskusikan lebih lanjut.

Jika magnitudenya ekstrim, atau jika gangguan terjadi berulang kali, maka beberapa gejala akan muncul. Pertama, berlebihnya tegangan (/energi/daya/arus) akan menekan belitan stator secara elektrik. Hal ini dapat berujung pada kerusakan motor secara prematur. Kedua, kedip yang ekstrim dapat menyebabkan motor kehilangan inersia putaran yang berefek pada kinerjanya. Yang ketiga dan terakhir, jika kedip terjadi cukup sering, motor akan menghasilkan inrush current (start mula) yang lebih sering untuk mentripping breaker.

2.4.5. Peralatan sensitif di pembangkit (atau industri)

Kedip dan kelebihan tegangan akan memberikan efek yang parah pada peralatan industri konsumen. Kelebihan tegangan yang ekstrem akan menekan komponen hingga mencapai tingkat merusak, namun kelebihan tegangan pada umumnya akan menyebabkan kerusakan pada beberapa bagian.

Masalah akan muncul ketika sistem bereaksi atas respon beban akan adanya kedip ataupun kelebihan beban. Jika kedip atau kelebihan tegangan terjadi cukup ekstrem dan berlangsung cukup lama, arus lebih yang dihasilkan akan mentripping breaker, merusak sekering atau komponen elektronik lainnya.

2.5 Batasan Nilai Kedip Tegangan

Nilai dari kedip tegangan (*voltage dip*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol dalam suatu pabrik/industri.

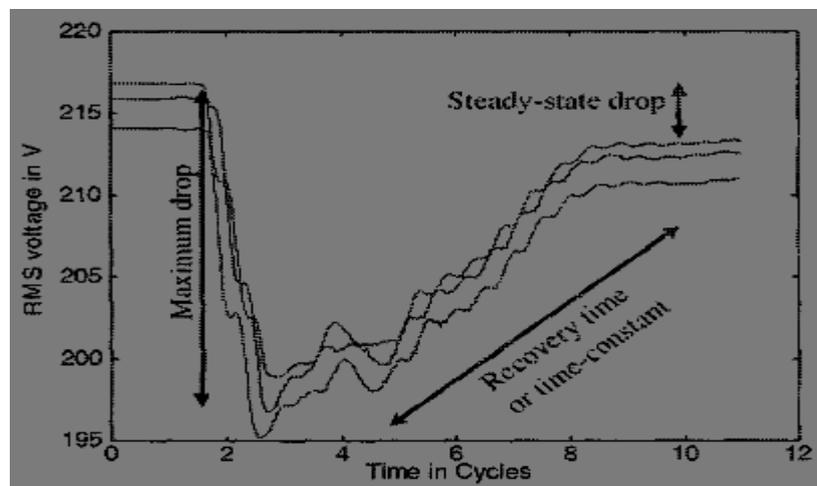
Tabel 2.1 Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban pada sebuah komputer

Parameter	Rentang
Batasan tegangan (<i>steady state</i>)	+6 %, -13 %
Gangguan tegangan	<i>Surge</i> +15 % - maks 0,5 s
	<i>Sag</i> -18 % - maks 0,5 detik
	<i>Transient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 s
Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
Batasan frekuensi	60 Hz \pm 0,5
Perubahan frekuensi	1 Hz/s
Tegangan tiga-fasa takimbang	2,5 %
Beban tiga-fasa takimbang	5 – 20 %
Faktor daya	0,8 – 0,9
<i>Load demand</i>	0,75 – 0,85 (dari beban tersambung)

2.6 Tegangan Jatuh Sesaat Saat Pengasutan atau Starting Motor Induksi

Motor memiliki efek yang tidak diinginkan yaitu arus beban saat mulai start yang sangat besar. Ini arus yang besar akan mengalir melalui impedansi sistem, menyebabkan sag tegangan (kedip tegangan) yang memungkinkan lampu akan redup, menyebabkan kontaktor putus, dan mengganggu peralatan yang sensitif.

Waktu yang diperlukan untuk motor untuk mempercepat peningkatan kecepataannya dinilai dengan besarnya sag, dan sag yang berlebihan dapat menyebabkan start motor tidak berhasil. Sag pada saat starting motor dapat bertahan selama beberapa detik, seperti yang diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Grafik Voltage Sags (Kedip Tegangan) Pada Saat Motor Start

Motor listrik AC (sangkar tupai dan sinkron), menarik arus start tegangan penuh sebesar 5– 6 kali arus nominal beban penuh agar dapat memperoleh torsi starting/pengasutan cukup untuk mulai berputar. Adanya arus start besar yang secara tiba-tiba ditarik dari sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kedip tegangan sesaat. Akibat yang merugikan karena terjadinya kedip tegangan antara lain :

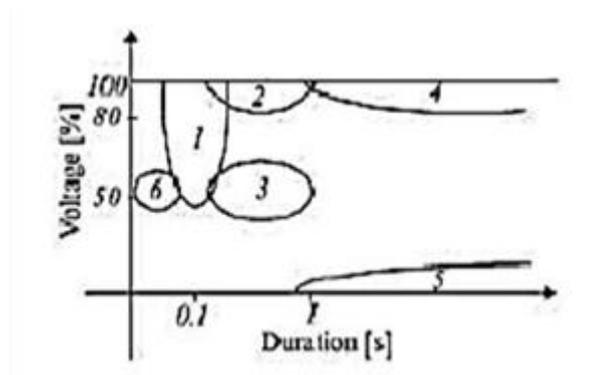
1. Torsi transien shaft pada motor, yang dapat menyebabkan stress yang berlebihan pada sistem mekanik.
2. Drop tegangan yang berlebihan, yang dapat menghambat akselerasi motor dari kondisi diam ke kecepatan penuhnya.

- Mal - fungsi dari kinerja peralatan - peralatan lain, seperti : rele, kontaktor, peralatan elektronik, komputer (media penyimpan data), dan terjadinya flicker pada penerangan yang dapat mengganggu

2.7 Durasi tegangan jatuh sesaat (kedip tegangan)

Setiap gangguan yang terjadi memberikan dampak yang berbeda - beda, termasuk mengenai dampaknya pada durasi gangguan voltage dip (kedip tegangan). Gambar 2.8. menjelaskan bagaimana durasi suatu gangguan yang umumnya terjadi dan dapat menyebabkan kedip tegangan (voltage dip), antara lain :

- Gangguan sistem transmisi.
- Gangguan sistem distribusi listrik yang jauh.
- Gangguan sistem distribusi listrik lokal.
- Penghantaran atau starting motor listrik berkapasitas besar.
- Gangguan hubung singkat.
- Fuse (sekering).



Gambar 2.8 Kedip Tegangan (voltage dip) Karena Berbagai Sebab Dalam Suatu Plot Durasi

Gangguan pada sistem transmisi umumnya terjadi dalam durasi yang singkat, namun gangguan kedip tegangan (voltage dip) yang terjadi dapat mencapai hingga 50% dari tegangan nominal, seperti yang ditunjukkan oleh gambar nomor

1 dan nomor 2 pada gambar 2.8 menunjukkan gangguan distribusi yang jauh. Gangguan yang terjadi tidak besar, namun dapat terjadi dalam durasi yang lebih panjang dari gangguan yang terjadi pada sistem transmisi.

Gambar 2.8 nomor 3 dan nomor 6 secara berturut-turut merupakan gangguan distribusi lokal dan gangguan karena *fuse* yang rusak. Besaran gangguan yang terjadi hampir sama, perbedaannya terletak pada durasi dan waktu terjadinya gangguan. Gambar 2.8 nomor 4 menunjukkan gangguan karena penghasutan atau *starting* motor besar. Gangguan ini dapat terjadi dengan durasi yang cukup panjang dengan nilai gangguan yang besar. Gangguan hubung singkat ditunjukkan pada Gambar 2.8 nomor 5. Gangguan ini dapat terjadi dengan durasi yang cukup lama bila dibandingkan dengan faktor gangguan lainnya.

2.8 Perhitungan Kedip Tegangan

Dalam perhitungan kedip tegangan, nilai minimum pada saat terjadi gangguan kerja pada titik sumber sistem harus diketahui. Kemudian, menghitung impedans saluran sistem atau reaktansi antara titik sumber dan motor. Impedans motor dapat dihitung berdasarkan katalog dari pabrik pembuatnya, yang biasanya diberikan nilai untuk tegangan penuh dan arus pada rotor

Dalam menghitung tegangan motor saat terjadi pengasutan digunakan persamaan :

$$V_s = \frac{Z_m}{\sqrt{(R_m + R_s)^2 + (X_m + X_s)^2}} \times V_I \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

V_s = tegangan motor saat pengasutan (V)

V_I = tegangan awal saat pengasutan (V)

Z_m = impedans motor yang diasut (Ω)

R_m = $Z_m \text{ Cos } \theta_m$ (Ω)

X_m = $Z_m \text{ Sin } \theta_m$ (Ω)

$\cos \theta_m$ = faktor daya arus yang ditarik oleh motor yang diasut

R_S = resistans total jaringan antara motor dan titik pada sistem (Ω)

X_S = reaktans total jaringan antara motor dan titik pada sistem (Ω)

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$V_S = \frac{Z_m}{Z_m + X_S} \times V_I \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

V_S = tegangan motor saat pengasutan (V)

V_I = tegangan awal saat pengasutan (V)

Z_m = impedans motor yang diasut (Ω)

X_S = reaktans total jaringan antara motor dan titik pada sistem (Ω)

Karena perhitungan *drop* tegangan saat pengasutan motor biasanya ditujukan untuk motor-motor yang memiliki kapasitas diatas 100 HP, *error* yang ada pada persamaan yang disederhanakan dapat diabaikan. Prosentase *drop* tegangan saat pengasutan dapat diperoleh melalui persamaan :

$$Vd = \frac{V_S}{V_I} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

V_S = tegangan motor saat pengasutan (V)

V_I = tegangan awal saat pengasutan (V)

Vd = tegangan yang jatuh pada saat pengasutan (V)

Besar impedans motor (ohm) adalah :

$$Z_m = \frac{V_m}{\sqrt{3} \times I_S} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

V_m = tegangan *rating* motor (V)

I_s = arus *starting* pada tegangan *rating* motor (A)

Prosentase impedans motor dihitung dengan persamaan :

$$\%Z_m = \frac{100}{\frac{I_{LR}}{I_{FL}}} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan :

I_{LR} = arus locked-rotor (A)

I_{FL} = arus beban penuh/*full-load* (A)

2.9 MATLAB

MATLAB adalah sebuah bahasa dengan kemampuan tinggi untuk komputasi teknis yang menggabungkan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam satu kesatuan yang mudah digunakan di mana masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematik yang sudah dikenal.

Pemakaian MATLAB meliputi :

- Matematika dan komputasi
- Pengembangan algoritma
- Akuisisi data
- Pemodelan, simulasi dan *prototype*
- Grafik saintifik dan *engineering*
- Perluasan pemakaian, seperti *graphical user interface* (GUI).

MATLAB adalah kependekan dari matrix laboratory, dimana MATLAB merupakan perangkat lunak untuk komputasi teknis dan saintifik.

MATLAB merupakan suatu sistem interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu array sehingga tidak lagi kita dipusingkan dengan masalah dimensi. Hal ini memungkinkan kita untuk memecahkan banyak masalah teknis yang terkait dengan komputasi, khususnya yang berhubungan dengan matrix dan formula vektor, yang mana masalah tersebut merupakan sebuah ketakutan apabila kita harus menyelesaikannya dengan menggunakan bahasa level rendah seperti Pascall, C dan Basic.

Sehingga MATLAB dapat bertindak sebagai :

- Kalkulator

Ketika bertindak sebagai kalkulator, MATLAB memberikan hasil seketika setelah perintah operasi diberikan.

- Bahasa Pemrograman

Perintah-perintah operasi dengan urutan dan logika tertentu, serta digunakan berulang-ulang dapat dibuat sebagai suatu program yang akan dijelaskan pada unit selanjutnya.

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

Data dan *variabel* yang dibuat dalam *command windows* tersimpan dalam *workspace* MATLAB. Suatu runtun data yang banyak, sulit untuk diperiksa hanyadengan mengamati angka – angka yang ditampilkan. Penampilan data dalam bentuk grafik dapat memudahkan analisis.

Sistem MATLAB terdiri atas lima bagian utama :

-Development Environment Ini adalah kumpulan semua alat-alat dan fasilitas untuk membantu kita dalam menggunakan fungsi dan *file MATLAB*. Bagian ini memuat *desktop, Command window, command history, editor and debugger*, dan *browser* untuk melihat *help, workspace, files*.

- **The MATLAB Mathematical Function Library**. Bagian ini adalah koleksi semua algoritma komputasi, mulai dari fungsi sederhana seperti *sum, sine, cosine* sampai fungsi lebih rumit seperti *invers matriks*, nilai *eigen*, fungsi *Bessel* dan fast Fourier transform. **-The MATLAB language**. Ini adalah bahasa *matriks/array level* tinggi dengan *control flow*, fungsi, struktur data, *input/output*, dan *fitur objek programming* lainnya

-Graphics MATLAB mempunyai fasilitas untuk menampilkan vector dan matriks sebagai grafik. Fasilitas ini mencakup visualisasi data dua / tiga dimensi, pemrosesan citra (*image*), animasi, dan grafik animasi

-The MATLAB Application Program Interface (API). Paket ini memungkinkan kita menulis bahasa C dan Fortran yang berinteraksi dengan MATLAB. Ia memuat fasilitas untuk pemanggilan kode-kode dari MATLAB (dynamic linking), yang disebut MATLAB sebagai mesin penghitung, dan untuk membaca dan menulis MAT-files.

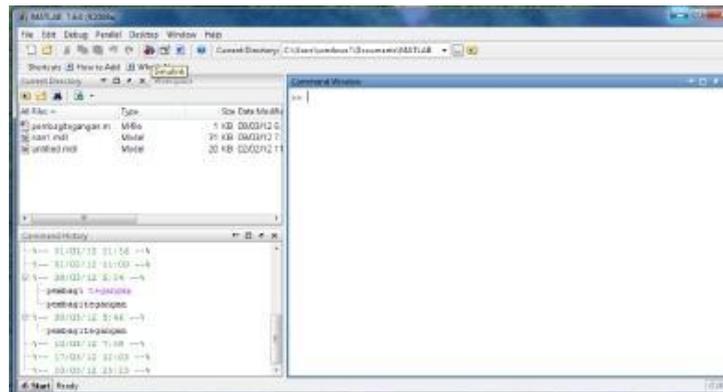
Simulink MATLAB

Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam MATLAB untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Dengan *simulink* kita dimudahkan untuk membuat sebuah simulasi secara lebih interaktif. Sehingga dengan *simulink* ini kita dapat lebih mudah atau dengan kata lain memperoleh gambaran yang jelas dari suatu modelling atau simulasi

Dengan *simulink* kita dimudahkan untuk membuat sebuah simulasi secara lebih interaktif. Sehingga dengan menggunakan *simulink* ini kita dapat lebih memperoleh akurasi atau gambaran dari suatu modeling atau simulasi.

a. Cara membuat suatu simulasi dengan Simulink

Pertama bukalah program MATLAB, lalu akan muncul tampilan seperti pada gambar 2.9 Kemudian klik ikon seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10, sehingga akan tampilah simulink library browser seperti pada gambar 2.11



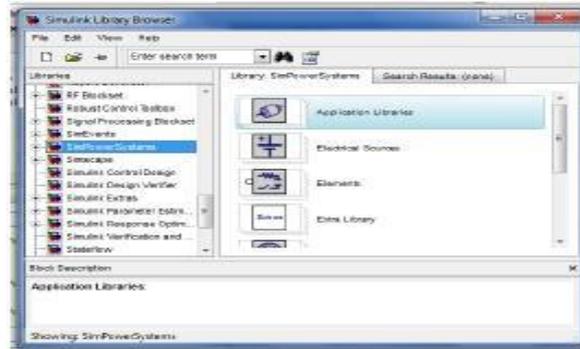
Gambar 2.9. Tampilan Program MATLAB



Gambar 2.11. Tampilan Jendela Simulink

b. Setelah muncul jendela simulink seperti diatas,

selanjutnya pilih *SimPowerSystems* pada jendela simulink tersebut. *SimPowerSystems* adalah salah satu blok-blok simulasi khusus untuk sistem Tenaga Listrik yang di dalamnya terdapat macam-macam *toolbox* aplikasi simulink.



Gambar 2.10. Macam-macam *Toolbox* dalam *SimPowerSystems*

