

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Sirkulasi Air*[3]

Air dipompakan kedalam boiler dengan menggunakan pompa air pengisi (Boiler Feed Pump/BFP), melalui katup pengatur. Sebelum masuk kedalam steam drum, air dipanaskan terlebih dahulu di Low Pressure Heater juga dipanasi di High Pressure Heater dan terakhir dipanasi di Economizer sehingga temperatur air mendekati titik didihnya. Dari dalam boiler drum air bersirkulasi melalui down comer dan riser sehingga dengan adanya pemanasan dari ruang bakar ter bentuklah uap air. Sirkulasi ini dapat terjadi secara alami (natural circulation) ataupun sirkulasi yang dibantu (assited circulation) dengan menggunakan pompa sirkulasi yaitu *Boiler Feed Pump*.



Gambar 2.1 *Boiler Feed Water Pump* PLTU Bukit Asam

Berdasarkan Gambar 2.1 *Feed Pump* PLTU Bukit Asam Air yang ditransfer BFWP menuju ke boiler berasal dari *Feed Water Tank* (FWT) yang letaknya biasanya pada ketinggian tertentu. Ketinggian dari FWT ini menjadi *Suction Head* untuk BFWP. Air masuk dari FWT menuju *inlet booster pump*, dan keluar dengan kenaikan tekanan tertentu yang tidak terlalu tinggi dan tekanan tersebut menjadi



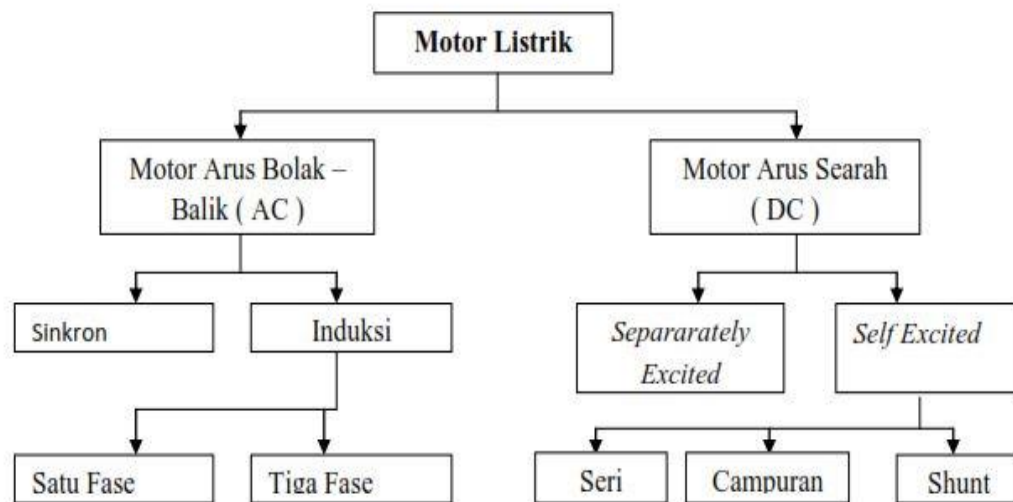
SuctionHead untuk *main pump*. Air tersebut masuk ke sisi *inlet main pump*, dan mengalami kenaikan tekanan yang lebih besar dan selanjutnya *disupply* menuju ke *boiler*.

2.2 Motor Induksi 3 Fasa[1]

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energy listrik menjadi energy mekanik. Begitu juga dengan sebaliknya, yaitu alat untuk mengubah energy mekanik menjadi listrik yang biasa disebut engan generator Tu dynamo. Pada motor listrik yang tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak menolak dan kutub yang tidak senama akan tarik menarik. Dengan terjadinya proses ini maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

2.2.1 Jenis jenis Motor Listrik[1]

Dibawah ini adalah bagan mengenai macam-macam motor listrik berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi yang terangkum dalam klasifikasi motor listrik. Secara umum motor listrik ada 2 yaitu motor listrik AC dan motor listrik DC. Motor listrik AC dan motor listrik DC juga terbagi lagi menjadi beberapa bagian-bagian lagi, jika digambarkan maka akan terlihat seperti pada gambar 1 di bawah ini.

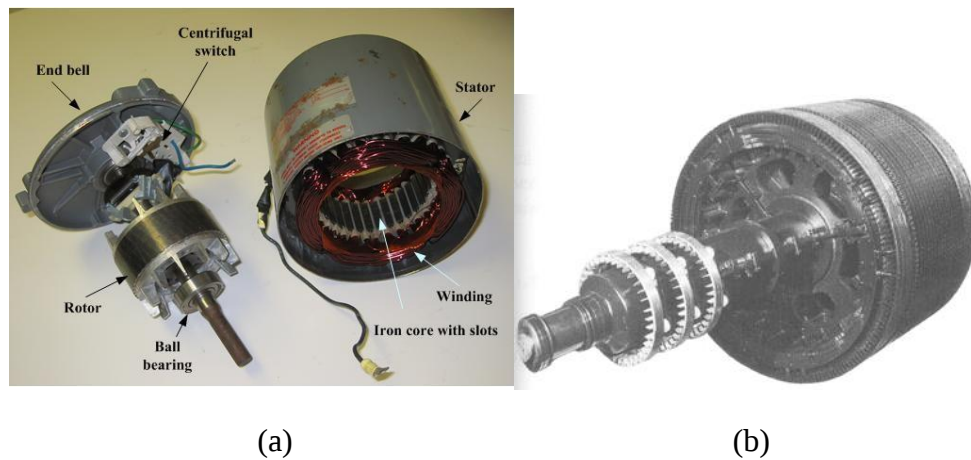


Gambar 2.2 Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

2.2.2 Konstruksi Motor Induksi[1]

Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting yaitu

1. Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya
2. Celah : Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor
3. Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor



Gambar 2.3 Bentuk konstruksi dari motor induksi, (a) stator dan rotor sangkar, (b) rotor belitan

2.3 Sistem Proteksi[4]

Potensi-potensi bahaya yang umum diperhatikan, antara lain:

1. Gangguan - phasa dan atau tanah.
2. Kerusakan termis akibat :
 - a. Beban lebih (kontinyu atau *intermitent*).
 - b. Rotor terkunci (gagal asut, atau *jamming*).
3. Kondisi tidak normal.
 - a. Operasi tidak seimbang.
 - b. Tegangan lebih dan tegangan kurang.
 - c. Pembalikan phasa.
 - d. Penutupan balik kecepatan tinggi (*re-energize* sewaktu sedang jalan).
 - e. Temperatur yang tidak lazim dan atau lingkungan (dingin, panas, damp).
 - f. Urutan pengasutan yang tidak lengkap.

Potensi diatas umumnya terjadi untuk motor induksi, yang penggunaannya sangat umum dan banyak dipakai. Untuk motor-motor sinkron, potensi tambahan yang mungkin terjadi adalah:

4. Kehilangan eksitasi (kehilangan Medan).
5. Operasi diluar sinkronisasi.
6. Kehilangan sinkronisasi.



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

1. Pengaruh Motor.
 - a. Kegagalan isolasi.
 - b. Kegagalan *bearing*.
 - c. Kegagalan mekanis.
 - d. Untuk motor sinkron – kehilangan medan.
2. Pengaruh beban.
 - a. Beban lebih (dan beban berkurang).
 - b. *Jamming*.
 - c. Inersia tinggi (Wk²).
3. Pengaruh Lingkungan.
 - a. Temperatur ambien yang tinggi.
 - b. Tingkat kontaminasi yang tinggi.
 - c. Temperatur *ambient* yang terlalu dingin.
4. Pengaruh sumber atau system.
 - a. Kegagalan fasa (fasa terbuka).
 - b. Tegangan lebih.
 - c. Tegangan kurang.
 - d. Pembalikan fasa.
 - e. Kondisi kehilangan sinkronisasi akibat gangguan dari sistem
 - f. Sinkronisasi, penutupan atau penutupan balik fasa.
 - g. Siklus kerja tinggi.
 - h. *Jogging*.
 - i. Pembalikan cepat atau plug.

2.4 Karakteristik Motor Yang Mempengaruhi Proteksi[4]

Karakteristik utama motor yang tersedia dan dilibatkan dalam proteksi motor antaralain:

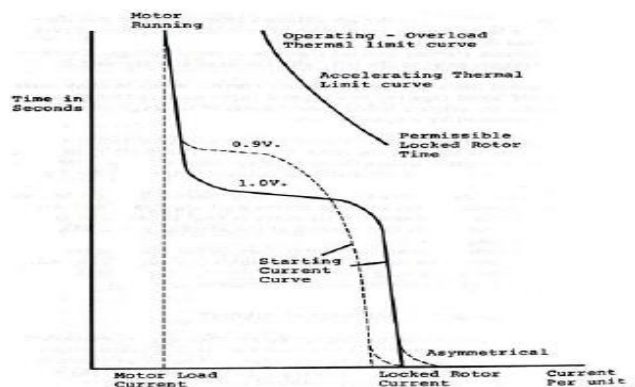
1. Kurva arus pengasutan.
2. Kurva kapabilitas termis, termasuk batasan termis rotor terkunci.



3. Konstanta K (R_r2/R_r1).

Karakteristik tersebut umumnya diperoleh dari pabrikasi motor dan merupakan dasar dari aplikasi proteksi motor. Tipikal kurva karakteristik motor diberikan dalam Gambar 2.4 Kurva arus pengasutan maksimum diberikan dalam *rating* tegangan motor. Arus – arus untuk tegangan rendah diberikan pada sebelah kiri, dengan lutut. Pada level waktu tinggi. Batasan termis diberikan dalam tiga kurva yang berbeda, dalam banyak kasus kurva ini diberikan bersama seperti dalam gambar. Batasan termis adalah zona yang tidak pasti dimana engineer menginginkan kurva yang lebih khusus.

1. Porsi arus terbesar menunjukkan lama waktu diizinkan rotor terkunci. Waktu ini adalah lama waktu rotor dapat tetap berhenti setelah motor energisasi sebelum terjadi kerusakan termis pada batang rotor, ring penahan rotor, atau stator, yang merupakan waktu desain motor tersebut. Pada motor-motor besar, batasan termis rotor terkunci dapat lebih singkat dari waktu pengasutan, jadi motor-motor ini harus diasut seketika untuk mengurangi kerusakan termis. Kurva ini dibuat berdasarkan arus rotor terkunci pada tegangan penuh terhadap arus pengasutan pada tegangan minimum yang diizinkan.
2. Kurva percepatan batasan termis dibuat berdasarkan arus rotor terhadap arus torka *breakdown* motor, yaitu pada 75% kecepatan nominal.
3. Kurva batasan termis operasi atau jalan, merepresentasikan kapasitas beban lebih motor pada saat operasi darurat.



Gambar 2.4 Tipikal Karakteristik Motor Induksi [3]

2.5 Proteksi Motor Secara Umum[4]

Proteksi sebuah motor dapat terdiri dari berbagai tipe, bentuk, desain dan dengan berbagai kombinasi, maupun dalam bentuk paket. Tujuan dasar dan utama dari suatu sistem proteksi motor adalah untuk menjaga motor agar mampu beroperasi diatas kondisi normal tetapi tidak melebihi batasan mekanis dan termis pada waktu beban lebih dan pada waktu motor beroperasi tidak normal serta memiliki sensitivitas pada saat gangguan. Hal ini dapat dicapai dengan Cara berikut:

2.6 Proteksi Gangguan Fasa[4]

Rele arus lebih tanpa arah seketika dapat dipergunakan untuk proteksi motor induksi. Gangguan yang terjadi umumnya akan menghasilkan arus gangguan yang lebih besardari arus pengasutan motor rotor terkunci, kecuali untuk gangguan antar belitan. Arusgangguan dapat mengalir diantara belitan, namun sayangnya hanya sedikit bukti yangdapat dirasakan pada terminal rotor sampai gangguan tersebut berubah menjadi gangguan antar fasa atau atara fasa ke tanah.

Motor merupakan peralatan yang terhubung pada bagian akhir dari suatu sistem tenagaelektrik, oleh karena itu rele instantaneous dapat digunakan dan tidak ada masalahdalam hal koordinasi. Kontribusi motor induksi sebagai sumber gangguan pada sistem relatif kecil ($1/x_d'' = + \text{offset}$) dan akan menghilang dengan cepat dalam beberapa siklus, jadi tidak dibutuhkan rele arah. Ratio CT yang dipilih sebagai masukan rele dipilihsehingga arus maksimum motor disisi sekunder



berkisar antara 4 dan 5A. Rele fasainstantaneous harus diset berada diatas arus unsimetri rotor terkunci namun masih dibawah arus gangguan minimum. Hal ini dapat dilihat dari persamaan dimana I_{LR} , arus rotor terkunci adalah:

$$I_{lr} = \frac{1}{X_{IS} + X_d''} \quad (2.1)$$

Dimana X_{IS} adalah reaktansi (impedansi) total sistem atau sumber motor. Persamaan ini Sama dengan persamaan arus pengasutan motor dengan harga impedansi sistem mendekati NOL. Arus gangguan pada motor adalah:

$$I_{3\Phi} = \frac{1}{X_{IS}} \quad (2.2)$$

Dan untuk gangguan antar fasa, dengan $X_{1S} = X_{2S}$ adalah

$$I_{\Phi\Phi} = 0,866 I_{3\Phi} = \frac{0,866}{X_{IS}} \quad (2.3)$$

Bila P_R adalah ratio antara arus angkat rele dan arus rotor terkunci, yaitu $P_R = \frac{I_{PU}}{I_{LR}}$

Umumnya harga P_R berkisar antara 1, 6 sampai 2, 0 atau lebih. Jika P_F adalah ratio antara arus gangguan minimum dengan arus angkat rele, yaitu $P_F = \frac{I_{\Phi\Phi}}{I_{PU}}$

Dengan harga atara 2 sampai 3 atau lebih besar. Dari persamaan-persamaan diatas dapat dilihat bahwa:

$$I_{\Phi\Phi} = P_F I_{PU} = P_F P_R I_{LR} \quad (2.4)$$

Dan

$$\frac{I_{\Phi\Phi}}{I_{LR}} = P_F P_R \text{ Atau } \frac{I_{3\Phi}}{I_{LR}} = 1,155 P_F P_R \quad (2.5)$$

atau arus gangguan tiga fasa pada motor sebesar $1,155 P_F P_R$ atau lebih besar untuk proteksi arus lebih instantaneuous. Apabila harga minimum yang direkomendasikan untuk $P_R = 1,6$ dan $P_F = 2$, maka arus gangguan tiga fasa harus 3,7 kali dari arus rotorterkunci. Bilamana $P_R = 2, 0$ dan $P_F = 3$, maka arus gangguan tiga fasa paling tidak sebesar 6, 9 kali dari arus rotor terkunci. Lihat kembali persamaan-persamaan diatas, dimana:

$$I_{\Phi\Phi} = 0,866 I_{3\Phi} = \frac{0,866}{X_{IS}} = \frac{P_F P_R}{X_{IS} + X_d''} \quad (2.6)$$

$$X_{IS} = \frac{0,866 X_d''}{P_F P_R - 0,866} \quad (2.7)$$

Jadi untuk $P_R = 1,6$ dan $P_F = 2,0$, maka



$$X_{IS} = \frac{0,866X_d''}{1,6 \times 2,0 - 0,866} = 0,371X_d'' \quad (2.8)$$

Tipikal harga $X_d'' = 0, 15$ dan $X_{IS} = 0,056$ Pu, atau dengan $P_R = 2, 0$; $P_F = 3$;

Dan $X_d'' = 0, 15$, $X_{IS} = 0,025$ Pu.

Besaran ini didefinisikan sebagai impedansi sumber yang besarnya seperti diindikasikan atau kurang guna proteksi arus lebih instantaneous. Harga perUnit dalam contoh diatas semuanya dalam base kVA dan kV dari motor, dimana:

$$KVA_{rated} = \frac{(horsepower)(0,746)}{(efisiensi)(faktordaya)} \quad (2.9)$$

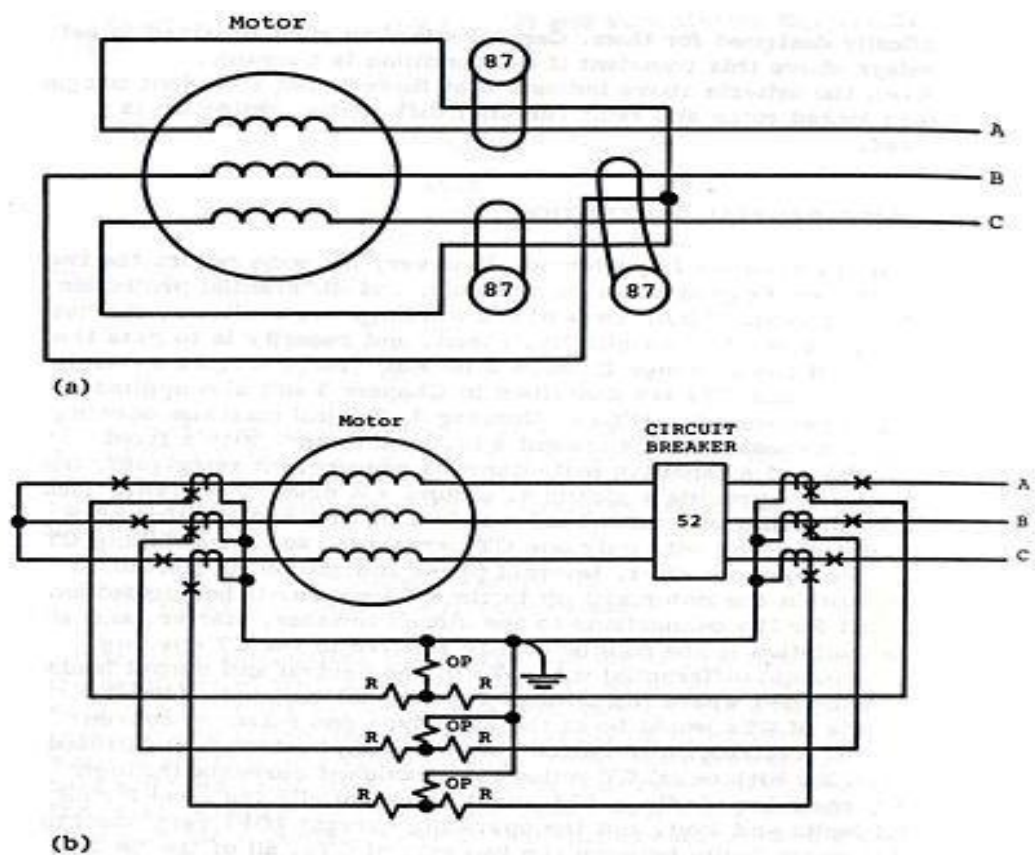
Pada kebanyakan aplikasi, impedansi sumber X_{IS} untuk keperluan praktis merupakan reaktansi dari transformator pemasok daya bagi motor, dimana bagian primer dari transformator tersebut terhubung pada sebuah utilitas yang besar, yang dapat dikategorikan sebagai sumber daya *infinite*. Disamping itu, umumnya sumber dari transformator tersebut juga merupakan sumber bagi beban-beban lain dan dengan demikian jauh lebih besar dari motor, sehingga reaktansinya dengan dasar reaktansi motor cenderung kecil.

2.7 Proteksi Diferensial[4]

Proteksi diferensial lebih disukai, namun proteksi jenis ini tidak dapat dipergunakan untuk semua motor. Untuk motor-motor yang tidak memiliki kedua ujung belitan, maka rele ini tidak dapat digunakan. Bila kedua belitan tersedia, keunggulan diferensial dalam sensitivitas, kecepatan, dan sekuritas dilalukan melalui suatu konduktor belitan. Tipikal maksimum bagian terbuka atau jendela pada CT ini dengan ukuran diameter sebesar 8 inchi.

Dengan ratio tetap 50:5 dan rele arus lebih instantaneous sensitif dapat dihasilkan arus angkat primer sebesar 5A. Harga ini adalah sebuah diferensial keseimbangan fluk dari beban dan magnitude arus pengasutan dan dengan hanya satu CT per fasa, maka unjuk kerja kecocokan CT tidak muncul. Proteksi tanah dan fasa internal diperoleh antara Motor sampai kelokasi CT. Proteksi lain dibutuhkan untuk menghubungkan ke Pemutus Tenaga, Starter, dan seterusnya. Kelemahannya adalah keterbatasan yang disebabkan ukuran jendela *Current Transformer* (CT)

atau transformator arus yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan arus listrik. Proteksi diferensial lebih disukai, namun proteksi jenis ini tidak dapat dipergunakan untuk semua motor karena motor listrik banyak beragam jenis ada motor ac dan motor dc dimana motor-motor ini banyak lagi di bagi pembagiannya motor ac terdiri dari dua jenis motor sinkron dan motor induksi motor induksi terbagi lagi menjadi dua jenis yaitu motor induksi satu fasa dan induksi tiga fasa.



Gambar 2.5 Proteksi Diferensial pada Motor dimana lead netral tersedia
a). dengan ring toroidal dan rele arus lebih seketika; b). Dengan CT konvensional dan rele Diferensial

Berdasarkan Gambar 2.5 Proteksi Diferensial pada Motor dimana lead netral tersedia a). Dengan ring toroidal dan rele arus lebih seketika; b). Dengan CT konvensional dan rele Diferensial. Relé Diferensial konvensional dengan CT pada netral dan lead keluaran harus digunakan bilamana tipe Toroidal tidak dapat



dipergunakan. Biasanya, dua set CT dengan tipe dan ratio sama, sehingga rele Diferensial dengan dua belitan penahan (87) digunakan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.5b. Dengan ratio CT sama, maka arus sekunder yang melalui belitan penahan rele (R) secara esensi sama untuk semua gangguan eksternal dan beban, dan arus operasi (OP) sangat kecil atau mendekati Nol. Untuk gangguan Motor antara kedua set CT, seluruh arus-arus gangguan mengalir melalui belitan operasi (OP) untuk mendapatkan sensitivitas tinggi untuk gangguan fasa maupun tanah, CT sisi jaringan harus seperti pada gambar sehingga zona diferensial termasuk Pemutus dan lead terhubung sebagaimana Motor.

2.8 Proteksi Gangguan Tanah[4]

Sebagaimana pada proteksi Fasa, rele arus lebih seketika digunakan pula untuk proteksi gangguan tanah. Apabila dimungkinkan, metoda yang disediakan adalah menggunakan CT tipe Ring, dengan ketiga konduktor Motor dilewatkan melalui jendela CT.

2.9 Proteksi Thermal Dan Rotor Terkunci[4]

Proteksi ini melibatkan aplikasi rele yang sedekat mungkin cocok dengan kurva termal dan rotor terkunci. Sekali lagi perlu diingat bahwa kurva termal Motor adalah pendekatan dari representasi zona kerusakan termis untuk operasi umum atau normal. Rele harus beroperasi sebelum batasan ini tercapai atau terlampaui. Selama ini keinginan tersebut dicapai dengan menggunakan rele termis untuk proteksi termis, dan rele arus lebih waktu terbalik untuk proteksi rotor terkunci. Proteksi ini didesain dan dikemas dalam berbagai Cara, memberikan proteksi yang baik untuk kebanyakan Motor.

Rele Termis tersedia dalam beberapa bentuk:

1. Tipe '*Replica*' dimana karakteristik pemanasan Motor dekat dengan elemen bimetal diantara Unit arus pemanas. Rele ini beroperasi hanya karena arus saja.
2. Operasi rele berasal dari koil eksplorasi, biasanya berupa Tahanan Pengindera Temperatur atau dalam bahasa aslinya disingkat RTD, disatukan pada belitan Motor. Rele beroperasi hanya karena temperatur belitan dan pengindera

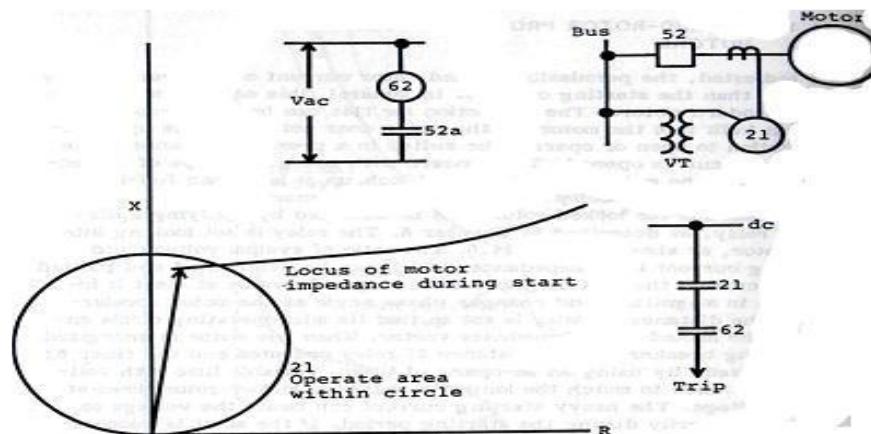


diletakkan pada Motor oleh desainer pada titik panas yang paling mungkin atau pada areal yang berbahaya. Hal ini biasanya dipakai pada Motor-Motor 250 HP keatas, dan mungkin pula tidak terpasang pada Motor ukuran tertentu, kecuali dinyatakan.

3. Rele yang beroperasi berdasarkan kombinasi dari arus dan temperatur. Kehatihatian harus dilakukan guna meyakinkan bahwa tidak terdapat kondisi yang mungkin tidak terlingkupi. Arus dan temperatur tinggi dapat menunjukkan adanya masalah, tetapi arus tinggi tanpa pengukuran temperatur tinggi mungkin muncul pada pemanasan lebih dari rotor, bantalan, masalah mesin penggerak, dan hubungan pada pengendali. Untuk kombinasi ini memberikan batasan pada proteksi Rele yang beroperasi berdasarkan kombinasi dari arus dan *temperature*.

2.10 Proteksi Rotor Terkunci Pada Motor Motor Besar[4]

Seperti telah disebutkan, arus rotor terkunci yang diizinkan dapat sangat dekat atau lebih kecil dari arus pengasutan Motor. Secara umum, hal ini terjadi untuk Motor- Motor modern ukuran besar. Proteksi untuk keadaan ini dapat digunakan saklar kecepatan nol yang dibangun sebagai bagian dari Motor. Apabila Motor tidak dapat terakselerasi meski Motor telah energise. Untuk membuka atau mengoperasikan saklar untuk tujuan tersebut, suplai harus terbuka. Masalah yang harus diperhatikan dalam penggunaan proteksi tipe ini adalah Motor tidak dapat diasut dan terkunci paling tidak sampai kecepatan beban penuh, dan kesulitan dalam pengujian dan pemeliharaan.



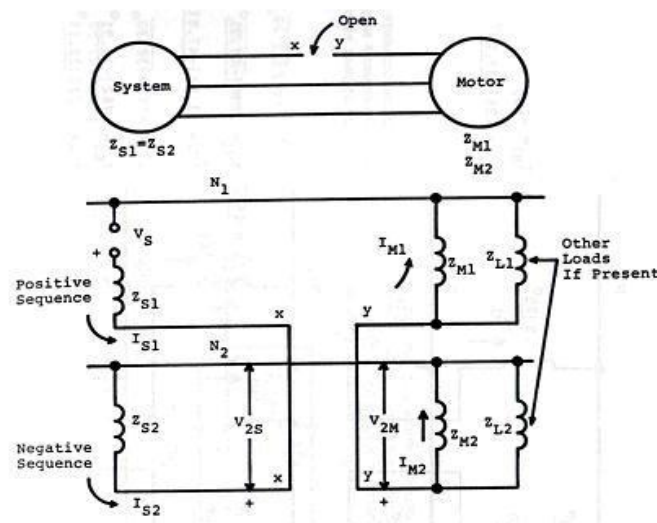
Gambar 2.6 Proteksi rotor terkunci dengan rele Jarak (21) dan pewaktu [3]

Berdasarkan Gambar 2.6. Proteksi rotor terkunci dengan rele Jarak (21) dan pewaktu. Proteksi untuk rotor terkunci dapat dicapai dengan menerapkan rele Jarak. Rele diset untuk dapat melihat kedalam Motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Ratio tegangan sistem dan arus asut adalah impedansi, yang dapat ditentukan dan diplot sebagai sebuah vektor dalam diagram $R - X$. Dari harga spesifik pada saat awal pengasutan kemudian berubah membesar baik dalam magnitud maupun sudut fasa sesuai dengan akselerasi Motor. Rele Jarak (21) diset sehingga lingkaran operasi MHO melingkupi vektor impedansi rotor terkunci. Bilamana Motor energise dengan menutup Pemutus (52), rele Jarak beroperasi dan pewaktu (62) *energise*. Dengan menggunakan sebuah pewaktu ac, variasi waktu dengan tegangan dapat ditentukan untuk menetapkan lamanya waktu rotor terkunci yang dapat diizinkan pada waktu tegangan rendah. Arus pengasutan yang besar dapat menyebabkan tegangan jatuh sementara selama prioda pengasutan.

Jika pengasutan berhasil, fasor Impedansi bergerak keluar dari lingkaran operasi rele Jarak (21) sebelum kontak pewaktu menutup. Jika pengasutan tidak sukses, vector impedansi tetap berada didalam lingkaran dan bilamana pewaktu (62) bekerja, maka inisiasi pemutusan mulai. Penyetelan pewaktu ditentukan berdasarkan kurva waktu rotor terkunci yang diizinkan dari tegangan penuh sampai 75 atau 80% tegangan beban penuh. Proteksi ini tidak mencakup kegagalan akselerasi untuk mencapai kecepatan penuh, atau untuk melepas dengan rotasi kontinyu.

2.11 Motor Dan ketidak Seimbangan Sistem[4]

Penyebab umum ketidak seimbangan pada Motor 3 fasa dikarenakan oleh kehilangan fasa akibat Fuse terbuka, konektor atau konduktor terbuka. Ketidakseimbangan pada beban dapat pula mempengaruhi Motor. Ketidak seimbangan tegangan sebesar 3,5% akan mengakibatkan kenaikan 25% atau lebih temperatur Motor. Hal ini terutama akibat arus urutan negatif yang dihasilkan oleh ketidak seimbangan.



Gambar 2.7 Representasi komponen simetris yang disederhanakan pada fasa terbuka

Berdasarkan Gambar 2.7 Representasi komponen simetris yang disederhanakan pada fasa terbuka Distribusi arus untuk fasa terbuka menggunakan jaringan ditunjukkan dalam Gambar 2.7 untuk beberapa kasus. Tipikal harga perUnit impedansi berdasarkan dasar kVA Motor dan adalah:

$$Z_{S1} = Z_{S2} = 0,05 < 90^\circ \text{Pu} \quad (2.10)$$

$$Z_{L1} = Z_{L2} = 1,0 < 15^\circ \text{Pu untuk beban static}$$

$$Z_{M2} = 0,90 < 25^\circ$$

$$Z_{M2} = 0,15 < 85^\circ$$

Sudut ini dimasukkan pada perhitungan, tetapi untuk penyederhanaan diasumsikan seluruh impedansi pada sudut Sama dan cenderung tidak berubah. Dengan seluruh harga pada 900, contoh; $I_{S1} = 0,87$ tidak $0,96 \text{Pu}$ seperti dalam



Gambar 2.9. Dari arus-arusurutan ini, dapat dilihat bahwa pada kedua sisi terbuka
 $I_A = I_1 + (-I_2) = 0$. Arus fasa lain

Adalah:

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 = -j\sqrt{3} I_1 \quad (2.11)$$

Dimana $I_1 = -I_2$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 = j\sqrt{3} I_1 \quad (2.12)$$

2.12 Ketidak Seimbangan Dan Proteksi Perubahan Fasa[4]

Sebagaimana disarankan, terdapat berbagai Carayang mungkinuntuk mendeteksi ketidak seimbangan sistem, yaitu:

1. Perbedaan magnitudo antara arus-arus ketiga fasa.
2. Munculnya arus urutan negatif dan positif
3. Keberadaan tegangan urutan negative

2.12.1 Gangguan

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal.

Gangguan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

a. Berdasarkan kesimetrisannya

1. Gangguan asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari:
 - Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah atau *ground*.
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa, yakni gangguan yang disebabkan karena fasa dan fasa antar kedua fasa terhubung



singkat dan tidak terhubung ke tanah.

- Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika kedua fasa terhubung singkat ke tanah.

2. Gangguan simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:

- a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa saling terhubung singkat.
- b. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa terhubung singkat ke tanah

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

I = Arus (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :



Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$ (2.14)

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ohm) Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ohm)

b. Berdasarkan lama terjadi gangguannya

1. Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.
2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.

Selain itu, gangguan juga terbagi menjadi dua jenis kategori yaitu :

- a. Hubung singkat
- b. Putusnya kawat

Dalam kategori pertama termasuk hubung singkat satu atau dua fasa dengan tanah, hubung singkat antara dua fasa, dan hubung singkat tiga fasa satu sama lain, atau hubung singkat tiga fasa dengan tanah. Dalam kategori kedua termasuk putusnya satu atau dua kawat. Terkadang, hubung singkat dan putusnya kawat dapat terjadi bersamaan. Kadang-kala terjadi juga hubung singkat di beberapa tempat sekaligus (A.Arismunandar,2004 : 69).



2.13 Proteksi Tegangan Kurang[4]

Tegangan kurang pada Motor dapat berakibat meningkatkan arus dan kegagalan pengasutan untuk mencapai rating kecepatan Motor atau kehilangan kecepatan dan mungkin berhenti berulang, proteksi tegangan kurang termasuk bagian dari peralatan Starter Motor, tetapi sebuah rele Tegangan kurang waktu terbalik (27) direkomendasikan untuk digunakan guna memutus kondisi ini agar tidak berlangsung lama dan sebagai rele cadangan.

2.14 Penutup Balik Dan Bus Pengalih[4]

Apabila Motor, baik Induksi maupun Sinkron, *reenergise* sebelum Motor benar-benar berhenti berputar, maka dapat terjadi torka transien yang tinggi dengan kemungkinan rusak dan atau merusak. Hal ini terjadi bilamana dilakukan pengalihan sumber masukan Motor dari sebuah penyulang yang mengalami kehilangan tegangan ke bus Bantu yang memiliki tegangan normal. Pengalihan dibutuhkan untuk menjaga agar pelayanan vita ke suplai Bantu pusat pembangkit besar atau proses industri kritis. Contoh lain adalah pabrik Industri disuplai oleh penghubung utilitas tunggal. Masalahnya pada utilitas Akan memerlukan pembukaan penghubung. Pengalaman menunjukkan bahwa kebanyakan gangguan pada utilitas adalah transien alami yang disebabkan oleh induksi petir, angin, dan atau kontak dengan dahan/pohon. Utilitas Akan khawatir untuk mengembalikan pelayanan ke konsumen, umumnya digunakan penutup balik kecepatan tinggi (sekitar 0, 20 – 0, 60 detik) dan reenergise Motor, dengan kemungkinan mengalami kerusakan. Batasan aman untuk menghubungkan kembali sebuah Motor adalah sangat kompleks dan diluar bahasan buku ini. Bila pengalihan cepat dilakukan, atensi khusus yang harus diberikan selama proses desain. Dengan kata lain, *police* terbaik salah satunya adalah menunda setiap proses *energise* ulang Motor Induksi atau meyakinkan bahwa Motor secepatnya diputus dari sistem. Untuk Motor Induksi, reenergise tidak boleh dilakukan sebelum tegangan Motor turun sampai 33% atau lebih kecil dari tegangan normalnya. Untuk Motor Sinkron, penutupan balik atau reenergise tidak diperbolehkan sampai resinkronisasi dapat efektif. Artinya membuka suplai Motor tepat pada saat kehilangan suplai.



Efektif artinya untuk membuka Pemutus suplai dalam kondisi ini digunakan sebuah rele frekuensi kurang. Tipikal rele Frekuensi (81) diatur 98 atau 97% dari rating frekuensi, dengan waktu override pengaruh dip tegangan sebelum reenergize dilaksanakan. Jika pabrik memiliki Pembangkit lokal, atau ada penghubung antara pembangkit dan penyulang suplai, maka kehati-hatian harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa frekuensi menurun pada waktu kehilangan utilitas. Pembangkit yang cukup untuk melayani beban, khususnya pada prioda beban rendah, Akanmenghasilkan perubahan frekuensi yang dapat diabaikan, Penutup Balik Dan Bus Pengalih.

2.15 Pengasutan Berulang Dan Proteksi Jogging[4]

Pengasutan Motor berulang kali dengan waktu yang tidak cukup diantaranya atau operasi dengan variasi beban yang sangat ekstrim (Jogging) dapat mengakibatkan kenaikan temperatur Motor. Adalah mungkin untuk suatu temperatur tinggi mengikuti beban puncak waktu singkat dengan arus subsequen rendah pada operasi normal dan tidak melebihi batasan Motor. Thermistor pada Motor-Motor kecil dan Unit beban lebih thermis terintegrasi bereaksi terhadap panas total untuk Motor besar memberikan sebuah proteksi. Rele (49) yang dapat beroperasi pada arus lebih dan temperatur dapat digunakan untuk proteksi Motor. Rele beroperasi dengan arus tinggi dan temperatur tinggi. Temperatur tinggi tanpa beban lebih atau beban lebih tinggi tanpa temperatur tinggi mungkin tidak Akan menyebabkan operasi. Penggunaan ini membutuhkan anlisis mendalam.

2.16 Proteksi Motor Sinkron[4]

Proteksi yang telah didiskusikan diatas adalah proteksi digunakan untuk motor induksi, namun proteksi ini dapat pula digunakan untuk proteksi motor sinkron, dengan tambahan peralatan proteksi untuk operasi tidak sinkron dan kehilangan Medan. Pada motor-motor sinkron juga termasuk kendali dan proteksi untuk pengasutan, aplikasi Medan, dan sinkronisasi. Oleh karena itu, proteksi bagi kondisi diatas harus pula menjadi pertimbangan. Untuk motor-motor kecil, rele faktor daya direkomendasikan untuk digunakan. Rele ini Akanbekerja bila arus



yang menuju motor ketinggalan lebih dari 300. Tipikal sensitivitas arus maksimum terjadi bila arus tertinggal 1200, sehingga diperlukan arus yang sangat besar bila terjadi kehilangan Medan pada arus ketinggalan 300 sampai 900.

2.12 Persamaan untuk menghitung nilai Pengujian pada relay sistem proteksi[2]

1. Pengujian thermal Unit

$$I_b = K\% \cdot K1 \cdot I_N \quad (2.15)$$

2. Pengujian Arus urutan negatif

$$I_b = K\% \cdot K2 \cdot I_N \quad (2.16)$$

3. Pengujian Arus urutan positif

$$I_b = K\% \cdot K2 \cdot I_N \quad (2.17)$$

Dimana:

I_N = Rating nilai arus sekunder

I_o = Arus gangguan pembumian

$I_{\uparrow}$ = Urutan Arus positif

$I_{\downarrow}$ = Urutan Arus negative

$I_{\downarrow >}$ = Ambang batas satuan urutan negative

$I_{>>}$ = Ambang batas Unit (circuit pendek)

I_d = Arus starting

$ILR_{>}$ = Ambang batas rotor terkunci

I_{th} = Basis Pengaturan Relay

$I_{o>}$ = Ambang batas gangguan Unit urutan nol (gangguan pembumian)

K = Konstanta arus basis

$K1$ = Konstanta Pengaturan arus basis 1

$K0$ = Konstanta Unit urutan nol (gangguan pembumian)

T = Periode fungsi 66 (mulai ditempati)

T = Blok fungsi periode 66 (mulai ditempati)

T_d = Waktu starting

$t(ILR)$ = Operasi pada waktu rotor terkunci



N	=	Jumlah awal yang diizinkan selama waktu t
T	=	Waktu konstan thermal
Ta	=	Pelajari konstan waktu termal
$\theta\%$	=	Kondisi thermal
$\theta d\%$	=	Kondisi thermal pada saat star motor dibebani
V aux	=	Persediaan tambahan tegangan
R ext	=	Resistor external
S	=	Waktu
Min	=	Menit
A	=	Ampere(A)