

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori IDF Furnace

Dalam keadaan operasi suatu sistem tenaga listrik sering kali mengalami gangguan yang dapat merusak peralatan dalam sistem tenaga itu sendiri, sehingga perlu dilakukan pemasangan sistem proteksi. Tujuan proteksi adalah untuk mengamankan suatu peralatan dan manusia serta mengisolasi gangguan dari sistem kelistrikan yang menyeluruh (jaringan), sehingga tidak merambat sampai pada jaringan yang tidak mengalami gangguan, sehingga kerugian atau kerusakan dapat diminimalisir.

Induce Draft Fan (IDF) adalah kipas yang menyedot udara dari dalam *boiler* keluar menuju cerobong, menghasilkan tekanan negatif pada *boiler*, menjaga sirkulasi udara pembakaran dalam *boiler* tetap normal yakni dari *secondary air* (FD Fan) sebagai penyedot udara pembakaran seimbang. Memiliki baling-baling kipas (*fan blades*) dipasang disebuah *rotor fan wheel*.¹

Furnace adalah alat atau instrumen laboratorium yang berbentuk seperti tungku dan menghasilkan panas. Panas tersebut lalu di transfer ke bahan material yang hendak dibakar. Pada tahapan ini, terdapat proses fisika dan kimia dan sumber panas dari tungku biasanya berasal dari bahan padat, air, atau gas. Fungsi alat *furnace* adalah untuk menghasilkan energi panas dan melakukan pembakaran. Alat ini bekerja dengan cara menaikkan suhu *fluida* yang berasal dari hasil pembakaran. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar cair dan bahan bakar gas yang menyala didalam *burner*.

¹ KHAKAM, M. N., & Hendriawan, A. (2010). SIMULASI SISTEM KONTROL INDUCED DRAFT FAN SEBAGAI FURNACE PRESSURE CONTROL PADA BOILER PLTU PAITON UNIT 7&8. *EEPIS Final Project*.

2.2 Relay Proteksi

Relay proteksi adalah suatu alat yang mendeteksi kondisi tidak normal yang mungkin terjadi dalam sistem dengan cara mengukur besaran listrik yang berbeda pada keadaan normal dan pada keadaan gangguan. Jadi relay proteksi akan bekerja pada sistem yang mengalami gangguan untuk mencegah kerusakan peralatan pada sistem dengan cara melokalisir daerah gangguan sekecil mungkin. Relay berfungsi sebagai komponen proteksi yang akan mengamankan peralatan kelistrikan agar terjaga keamanannya.²

Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi agar rele proteksi dapat bekerja dengan baik adalah sebagai berikut:

1. Andal (*reliability*)

Rele proteksi harus selalu ada dalam kondisi yang dapat diandalkan. Andal adalah bahwa sebuah relay proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan proteksi pada alat. Disadari bahwa relay hanya bekerja pada saat-saat tertentu saja, yang sering di takutkan *rele proteksi* tidak dapat bekerja pada saat gangguan terjadi atau bahkan sudah bekerja walau tidak terdapat suatu gangguan sekalipun.

Keandalan suatu relay proteksi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Trafo arus (CT) atau trafo tegangan (PT) yang tidak bekerja dengan baik. Juga sumber DC (batere) sebagai penggerak *circuit breaker* (CB).
- Faktor manusia yang mempengaruhinya antara lain pemeliharaan, sistem instalasi, perencanaan dan lain-lain.

2. Selektif

Relay proteksi diharapkan mempunyai selektivitas yang tinggi. Selektivitas itu sendiri dapat diartikan secara harfiah, dapat dinyatakan sebagai kemampuan untuk memilih. Kemampuan memilih di sini adalah

²Sandi, F. H. (2021). *FUNGSI OCR SEBAGAI RELE PROTEKSI TERHADAP GANGGUAN PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK 150 KV GEJAYAN* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta).

kemampuan untuk mengisolir daerah gangguan dan mengamankan sistem yang masih bekerja. Juga diharapkan dapat membedakan keadaan gangguan secara teliti, apakah gangguan itu masih dalam keadaan normal atau sudah melampaui batas yang telah ditetapkan. Secara keseluruhan, rele proteksi diharapkan hanya mengisolir daerah gangguan dan pada saat yang tidak normal saja.

3. Waktu Kerja Relay Cepat (*Speed Of Operation*)

Waktu kerja yang dimaksud di sini adalah waktu yang diperlukan dari mulai gangguan terjadi, hingga bekerjanya *circuit breaker* untuk mengisolir daerah gangguan. Waktu operasi ini biasanya mempunyai satuan detik atau lebih kecil dari itu. Rele yang memiliki kecepatan tinggi adalah rele yang mampu

beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms (3 cycle pada sistem 60 Hz). Sedang waktu operasi yang cepat diharapkan karena :

- Waktu yang cepat dapat menghindari kerusakan yang lebih fatal.
- Waktu yang cepat dapat mengamankan sistem dari pengaruh-pengaruh gangguan.

4. Sensitifitas (*Sensitivity*)

Sebuah relay proteksi yang baik diharapkan mempunyai kepekaan kerja yang tinggi. Relay tersebut diharapkan dapat bekerja sedini mungkin, pada saat arus gangguan yang paling kecil (minimum fault current) mengalir pada daerah yang hendak diamankan. Kepekaan ini ditentukan oleh faktor kepekaan (kap) dengan besarnya faktor kepekaan ini adalah tidak boleh kurang dari 1.5 sampai 2.0.

5. Sederhana (*Simplicity*)

Relay proteksi harus disusun sesederhana mungkin dan tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya. Penambahan unit atau komponen yang mungkin meningkatkan proses namun tidak terlalu penting dalam sistem harus dipertimbangkan dengan seksama karena setiap penambahan akan meningkatkan sumber masalah dan tambahan pemeliharaan.

Sangat penting untuk menghasilkan suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maximum dengan harga yang minimum. Sistem proteksi akan terlihat mahal bila dilihat sebagai sesuatu yang berdiri sendiri, namun bila pertimbangannya adalah besar biaya dari sistem peralatan yang dilindungi, dan biaya yang harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

2.3 Fungsi Relay

Relay proteksi merupakan suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan penting, yaitu :

1. Memberikan sinyal alarm atau melepas PMT/CB dengan tujuan mengisolir gangguan pada kondisi abnormal seperti adanya beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban yang tidak seimbang, frekuensi rendah, hubung singkat, dan kondisi abnormal lainnya.
2. Melepas atau mentrip peralatan yang tidak berfungsi normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
3. Melepas atau mentrip peralatan yang mengalami gangguan dengan tujuan menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistem.
4. Melokalisir penyebaran terjadinya gangguan pada peralatan yang lain di sekitarnya.

Jadi secara umum, fungsi dari relay proteksi adalah :

- a. Mengamankan peralatan beserta manusianya.
- b. Mencegah terjadinya kerusakan pada alat atau sistem.
- c. Melokalisir meluasnya gangguan pada sistem.

2.4 Thermal Overload Relay (TOR)

Thermal overload adalah peralatan switching yang peka terhadap suhu dan akan membuka atau menutup kontraktor pada saat suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kontrol listrik yang berfungsi

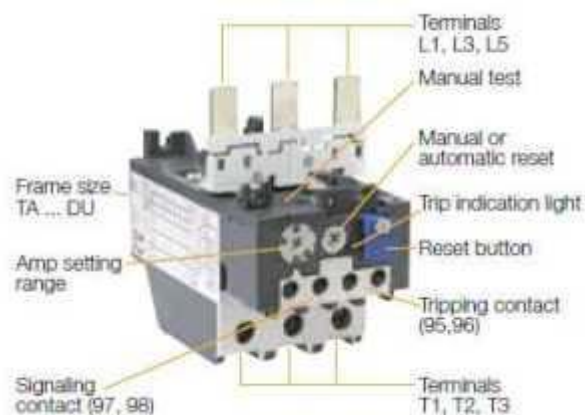
untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih.³

Thermal overload relay adalah proteksi beban lebih (arus lebih) dimaksudkan untuk melindungi motor dan perlengkapan kendali motor, terhadap pemanasan berlebihan sebagai akibat beban lebih. Relay ini digunakan baik sebagai peralatan pengaman utama maupun sebagai cadangan, dan digunakan disetiap zona proteksi sistem tenaga. Relay ini berfungsi mendeteksi adanya beban lebih yang mengalir pada jaringan yang diamankan. Relay akan bekerja apabila ada temperatur yang dirasakan rele proteksi melebihi nilai setting, temperatur lebih bisa terjadi karena adanya beban lebih.

Relay ini dihubungkan dengan kontaktor pada kontak utama 2, 4, 6 sebelum ke beban (motor listrik). Gunanya untuk mengamankan motor listrik atau memberi perlindungan kepada motor listrik dari kerusakan akibat beban lebih.

Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain:

- 1) Arus start yang tertalu besar.
- 2) Terjadinya hubung singkat.
- 3) Terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa.

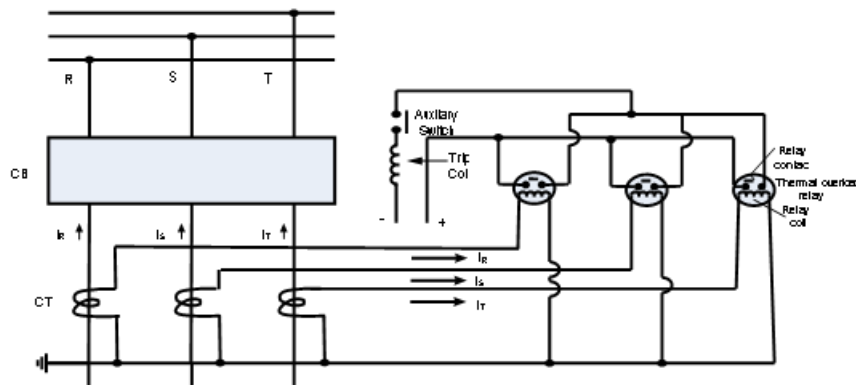


Gambar 2.1 Bagian - bagian Thermal Over Load Relay

³ Sugiarto, W. R. (2015). *LKP: Rancang Bangun Cutting Plywood Machine* (Doctoral dissertation, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya).

2.4.1 Prinsip Kerja Thermal Overload Relay

Secara umum prinsip kerja dari Thermal Overload Relay adalah dapat dijelaskan menurut gambar 1 dibawah ini.



Gambar 2.2 Prinsip kerja rele thermal overload

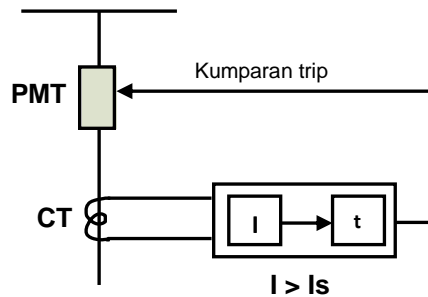
Pada saat normal, arus sekunder (I_R, I_S, I_T) mengalir pada kumparan rele. Rele belum bekerja karena arus sekunder itu masih ada dibawah harga arus mula rele. Pada saat gangguan terjadi, misalnya pada fasa R maka arus sekunder I_R akan naik. Jika harga kenaikan ini melebihi batas (arus mula) dari rele maka rele pada fasa R akan bekerja untuk menggerakkan circuit breaker. Salah satu syarat dari kerja rele pengamanan termasuk rele thermal overload lebih adalah cepat dan sensitive. Kecepatan berhubungan dengan waktu kerja rele. Semakin cepat rele bekerja semakin baik. *Sensitivity* berhubungan dengan ketelitian rele dalam mengukur besaran yang diukur.

Dalam hubungannya dengan kecepatan dan sensitivitas dari rele ada beberapa karakteristik dari rele tersebut, yaitu :

1. Karakteristik waktu Definite

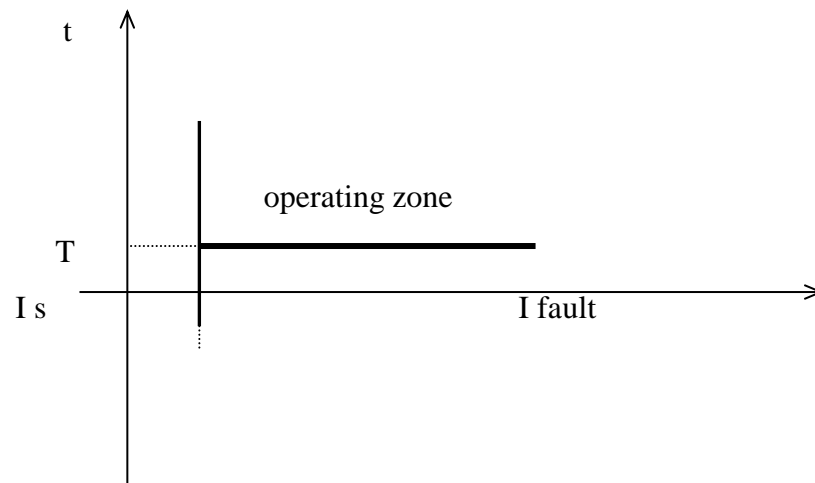
Karakteristik waktu kerja rele ini adalah tidak tergantung besarnya arus gangguan. Apabila arus dan temperatur telah mencapai atau melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dengan waktu sesuai setting waktunya, yang disetting dalam jenis rele ini adalah arus dan waktu tundanya. Relay waktu *definite* dapat bekerja dengan waktu

yang sudah ditentukan, berapapun arus gangguan yang terjadi dan melebihi batas pengaturan maka relay akan bekerja pada waktu yang sama.⁴



Gambar 2.3 Diagram satu garis karakteristik waktu definite

Secara grafis dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2.4 Grafik karakteristik waktu triiping definite

Dimana :

I_s : *Thereshold* Arus pada saat bekerja

T : Proteksi Waktu Tunda saat bekerja

I_{fault} : Kegagalan arus

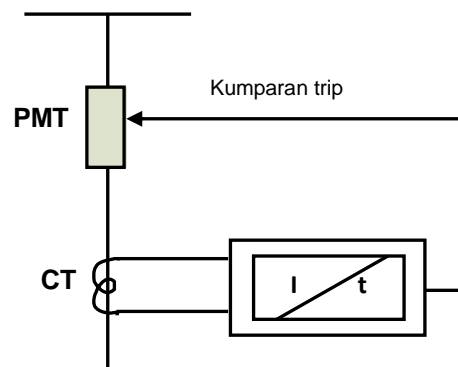
Keuntungan dan kerugian karakteristik ini adalah :

⁴ Al Asyad, A., Pujiantara, M., & Asfani, D. A. (2021). Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), B14-B21.

- a. Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu (grading time).
- b. Tidak terpengaruh perubahan kapasitas pembangkit.
- c. Semakin dekat ke sumber waktu kerja semakin panjang.

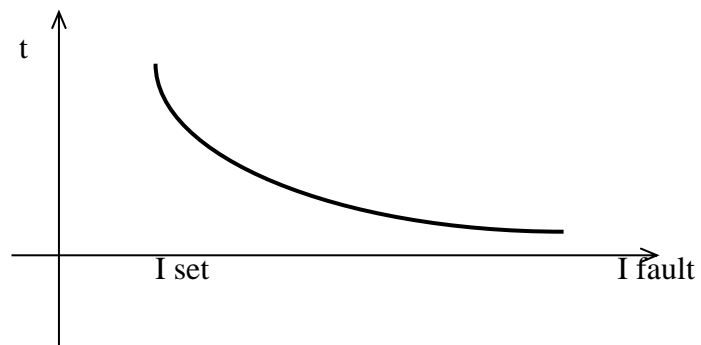
2. Karakteristik waktu Inverse

Relay ini mempunyai karakteristik semakin besar arus gangguan semakincepat relay bekerja. Semakin kecil arus gangguan semakin lambat rele bekerja, dengan catatan arus gangguan telah melampaui setting arusnya. Untuk *setting* relay arus lebih waktu *inverse* dapat mensetting dua bagian yaitu setelan pickup dan setelan time dial. Pada relay arus lebih, besarnya arus pickup ini ditentukan dengan memilih tap.⁵



Gambar 2.5 Diagram satu garis karakteristik rele Thermal Overload waktu inverse

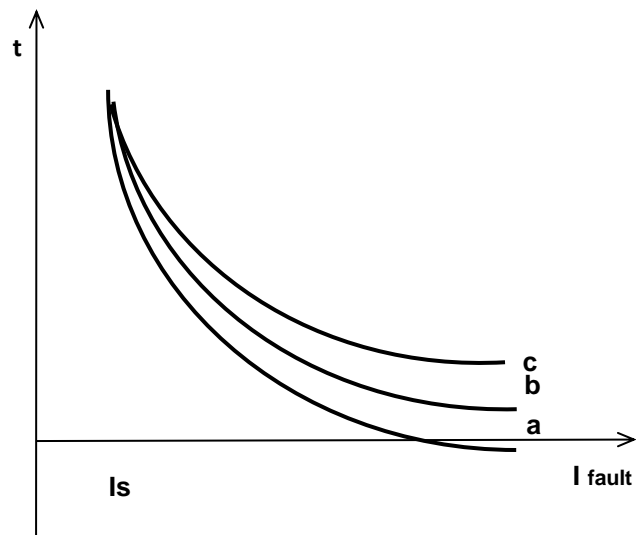
⁵ Rahmatullah, D., & Dewantara, B. Y. (2019). Optimasi DOCR Pada Sistem Distribusi Loop dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma Modified Particle Swarm Optimasion (MPSO). *J-Eltrik*, 1(1), 41-50.



Gambar 2.6 Grafik karakteristik waktu inverse

Karakteristik *inverse* ini mempunyai 4 macam yaitu (Standard IEC):

- a. Standard Inverse (SI)
- b. Very Inverse (VI)
- c. Extremely Inverse (EI)



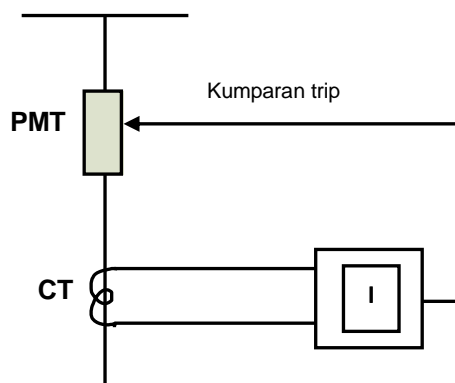
Gambar 2.7 Grafik karakteristik waktu

Keuntungan dan kerugian karakteristik ini adalah :

- a. Sebagai pengaman banyak saluran, inverse time dapat menekan akumulasi waktu, yang berarti dapat memberi pengaman yang cepat baik diujung saluran maupun dekat sumber.
- b. Sensitif terhadap perubahan pembangkit.
- c. Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah-ubah.

3. Karakteristik waktu Instant

Karakteristik waktu kerja dari relay ini adalah tanpa tunda waktu. Berapapun besarnya arus, bilamana sudah melampaui settingnya, maka relay akan trip dengan waktu mendekati nol detik (di bawah 100 ms). Biasanya rele ini digunakan untuk arus gangguan yang besar atau untuk rele yang tidak membutuhkan koordiansi waktu dengan rele yang lain.

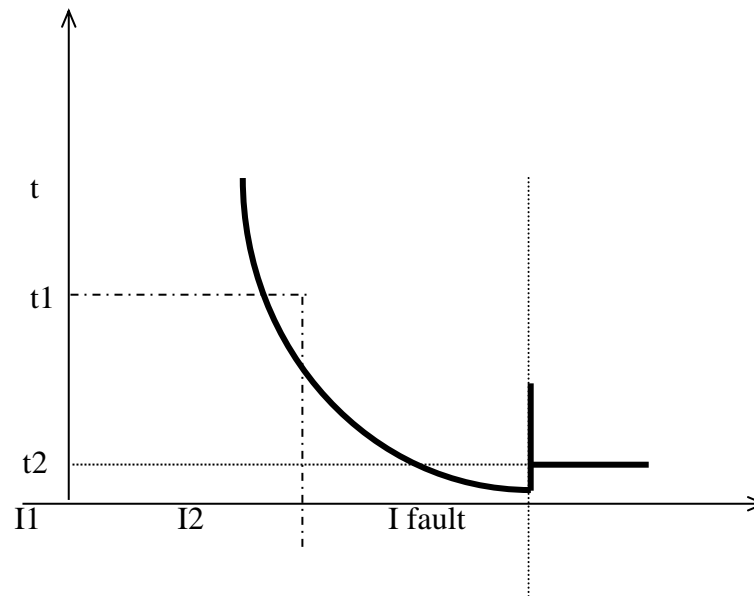


Gambar 2.8 Diagram satu garis karakteristik rele Thermal Overload waktu Instant

4. Karakteristik IDMT (Inverse Definite Minimum Time Rele)

Karakteristik rele ini adalah mempunyai bagian inverse untuk arus yang kecil dan karakteristik definite untuk arus yang besar. Jadi semakin besar arus gangguan maka akan semakin cepat pula waktu trip relay dan ketika waktu mencapai nilai setting maka kerja relay

tidak lagi ditentukan oleh arus gangguan, tetapi akan ditentukan oleh setting waktu. Fungsi *definite* pada relay ini digunakan untuk arus hubung singkat.⁶ Seperti pada gambar 2.9 karakteristik IDMT.



Gambar 2.9 Karakteristik IDMT

2.5 Perhitungan Setting Rele Thermal Overload

Untuk mencari setting Arus:

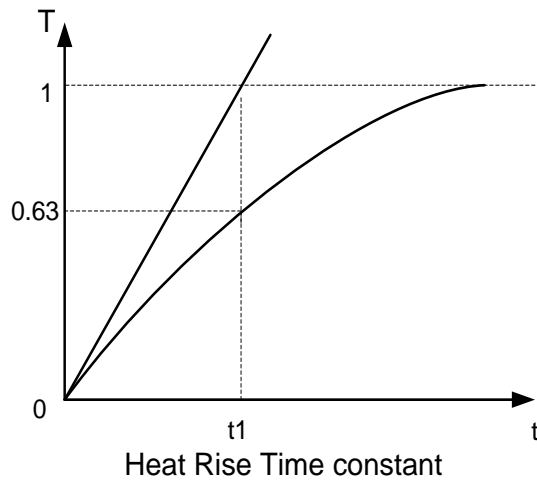
$$I = I_b \cdot \sqrt{ts_2} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Pada settingan kenaikan temperature ada dua set point yang ada :

- ts_1 : Alarm set point
- ts_2 : Tripping set point
- I_b : I base
- I : Current

Gangguan thermal overload berhubungan dengan kenaikan temperatur (heat rise) pada saat motor dibebani lebih :

⁶ Rohman, R. R. (2018). *Analisis Kelayakan Pada Sistem Kelistrikan Pertamina Cepu Akibat Penambahan PLTS 1 MW* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).



Gambar 2.10 Grafik Kenaikan Temperatur

Dimana:

$$\frac{t}{t_1} = K \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- T : Heat Rise
- t : Waktu tripp pada saat hot curve
- t₁ : Heat Rise Time Constant pada saat motor bekerja
- K : Konstanta
- Leq : Arus overload terus menerus sebesar 10% dari ih
- Ib : Arus Base
- Ts₂ : Tripping Set Point

2.6 Perhitungan Kenaikan Temperatur Motor

2.6.1 Perhitungan Impedansi motor

Untuk menentukan resistansi motor, maka terlebih dahulu ditentukan impedansi motor induksi dengan menggunakan persamaan dasar sebagai berikut :

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.3)$$

dan juga bisa didapat

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Z : Impedansi motor

V : Tegangan per phasa

I : Arus motor

R : Resistansi

X : Reaktansi

I_{set} : Arus Setting (Ampere)

I_N : Arus Nominal

I_N adalah banyaknya jumlah maksimum arus normal yang dapat diterima oleh sebuah motor

I_{set} adalah arus untuk melakukan penyettingan pada relay berdasarkan name plate pada relay tersebut.

2.6.2 Perhitungan rugi-rugi daya saat beban penuh

$$\Delta P = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan : ΔP : Rugi-rugi daya saat beban penuh

2.6.3 Perhitungan temperatur kerja motor

$$C_{ki} = C_2 - C_1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

C_{ki} : Temperatur kerja motor

C_1 : Temperatur Ambien

C_2 : Temperatur kelas isolasi kumparan motor

$$C_{km} = C_{hs} - C_1 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

C_{km} : Temperatur rugi-rugi daya pada kumparan

C_{hs} : Temperatur Hot-spot kumparan motor

C_1 : Temperatur Ambien

2.6.4 Perhitungan kenaikan temperatur setiap kenaikan rugi-rugi daya motor

$$C_m = \frac{C_{km}}{\Delta P} \left(\frac{^{\circ}C}{watt} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

C_m : Kenaikan temperatur setiap kenaikan rugi-rugi daya motor

C_{km} : Temperatur rugi-rugi daya pada kumparan

ΔP : Rugi-rugi daya saat beban penuh

2.6.5 Perhitungan temperatur kumparan motor

$$T_m = (\Delta P) \cdot (C_m) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

C_m : Kenaikan temperatur setiap kenaikan rugi-rugi daya motor

T_m : Temperatur kumparan motor

ΔP : Rugi-rugi daya saat beban penuh

2.6.6 Menentukan kecepatan motor

Umumnya tiap motor memiliki kecepatan tertentu sesuai dengan katalog. Ada motor dengan 2800 rpm, 1400 rpm dan 900 rpm tergantung merk dan jenis motor. Yang terpenting adalah kecepatan output yang dihasilkan. Dengan motor dan fan yang bersesuaian pada katalog atau melalui perhitungan kita dapat memperoleh kecepatan output fan. Sedang kecepatan output tergantung pada kapasitas. Kapasitas disini adalah seberapa banyak beban yang dipindahkan dalam satuan waktu. Secara umum perhitungan yang digunakan adalah turunan hukum kekekalan energi. Daya output sama dengan daya input dengan asumsi rugi- rugi transmisi diabaikan.

$$P1 = P2$$

Keterangan :

P1 : Daya input

P2 : Daya Output

Daya adalah usaha dibagi waktu, secara umum yang kita kenal adalah gaya kali jarak perpindahan. Sehingga secara umum persamaan daya adalah gaya kali jarak perpindahan dibagi waktu yang dibutuhkan, $P = F.s/t$

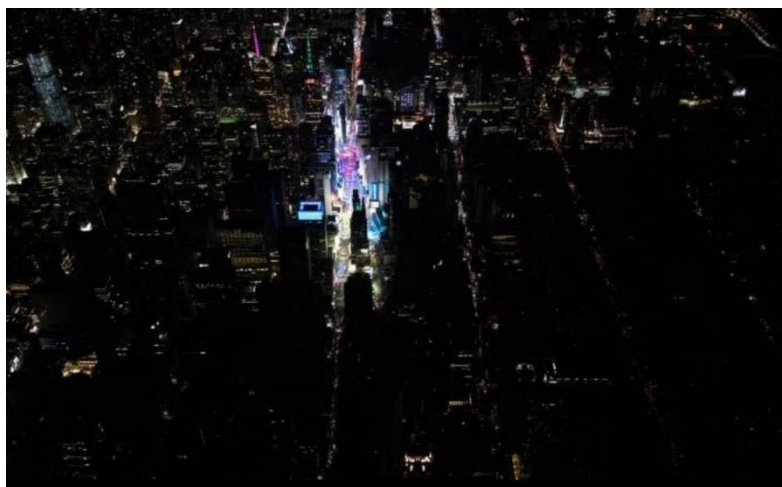
Jika s/t adalah kecepatan maka persamaan diatas dapat menjadi $P=F.v$

Jika pergerakan yang dialami adalah radial alias berputar, maka v atau kecepatan linier diganti dengan ω atau kecepatan radial, sehingga persamaan menjadi berikut. $P = F.r. \omega$

2.7 Jenis-jenis Gangguan Pada Listrik

1. *Power Failure* (Gangguan Sumber Listrik)

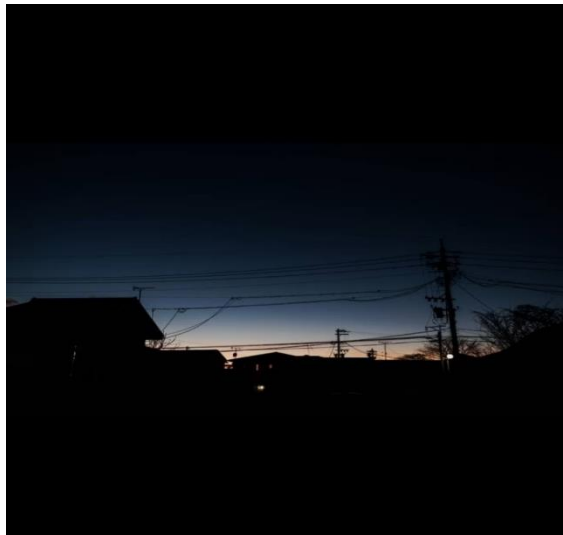
Power Failur atau disebut juga gangguan sumber listrik terjadi karena kondisi matinya sumber listrik pusat (utama). Misalnya saja, seperti hubungan arus pendek, pemadaman bergilir, atau berlebihnya beban listrik dirumah. Karena terjadi mendadak, gangguan *power failure* bisa berdampak pada kerusakan alat-alat elektronik yang sedang menyala.



Gambar 2.11 Pemadaman Listrik

2. Power SAG

Power SAG atau *drop voltage* adalah gangguan listrik yang terjadi akibat tegangan listrik turun secara tiba-tiba. Contohnya, ketika tekanan listrik yang mulanya 200 volt mendadak turun drastis lebih dari 10%, akibat kejadian power SAG ini, alat-alat elektronik di rumah termasuk komputer yang sedang dioperasikan bisa berpotensi rusak.



Gambar 2.12 Gangguan listrik power SAG

3. Power Surge

Masalah listrik yang sering terjadi berikutnya adalah *power surge/spike*. Ini terjadi karena voltase naik diatas 100% dari tegangan umum secara mendadak. Penyebab terjadinya *power surge* ini bisa juga karena jaringan listrik terkena sambaran petir. Dalam beberapa kasus, *power surge* menimbulkan kerusakan pada alat-alat elektronik.

4. Under Voltage

Under Voltage atau disebut *Brown Out* yaitu gangguan listrik yang terjadi ketika voltase berkurang dalam beberapa menit. Kejadian *under voltage* ini hamper mirip dengan power SAG. Hanya saja, *under voltage* terjadi sesaat saja, sedangkan rentang waktu power SAG bisa lebih lama.



Gambar 2.13 Under Voltage

5. *Over Voltage*

Jika *under voltage* disebabkan karena voltase listrik berkurang, maka gangguan listrik *over voltage* adalah sebaliknya. *Over voltage* adalah kondisi tegangan listrik yang melebihi batas normal dalam waktu yang cukup lama. Hal ini akan berdampak pada kerusakan peralatan listrik dan alat elektronik lain seperti komputer.

6. *Frequency Variation*

Jika frekuensi listrik tiba-tiba berubah atau tidak stabil, kondisi ini dinamakan *frequency variation*. Gangguan listrik ini menyebabkan kehilangan data pada *hardware* yang sedang menial, sistem komputer *crash*, dan kerusakan alat elektronik.

7. *Electrical Line Noise*

Electrical line noise, merupakan gangguan gelombang listrik yang disebabkan karena frekuensi radio dan instalasi listrik yang kurang baik. Jika ada alat elektronik seperti komputer yang beroperasi ketika gangguan ini sedang terjadi, maka kemungkinan besar akan mengalami kerusakan.