

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini adalah:

- Ari Satmoko (2008) melakukan penelitian mengenai analisa kualitatif teknik thermography infra merah dalam rangka pemeliharaan secara prediktif pada pompa. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa teknik thermography dapat mendeteksi anomali suatu proses secara dini. Dalam hal ini, pompa masih dapat bekerja namun telah mengalami penurunan kinerja. Apabila dibiarkan, anomali ini akan berkembang menjadi kegagalan operasi. Dengan ditemukannya anomali secara dini maka perbaikan dapat segera dilakukan dan sekaligus menghindari kegagalan komponen yang dapat mengarah pada kecelakaan. Apabila indikasi adanya kondisi abnormal tidak ditindaklanjuti, komponen-komponen yang mengalami titik panas mempunyai probabilitas tinggi untuk mengalami kegagalan. Semakin sering frekuensi inspeksi thermography dilakukan semakin dini kerusakan yang ada terdeteksi. Kamera infra merah mempunyai kemungkinan mendeteksi perbedaan suhu hingga 0,1 derajat celcius, dengan demikian banyak fenomena anomali yang dapat dideteksi. Mengingat pompa

merupakan komponen yang sangat vital, maka kesinambungan operasinya perlu dijaga setiap saat. Kegagalan suatu komponen pompa akan berakibat terhentinya suatu proses atau bahkan kecelakaan. Untuk menghindari hal tersebut, pengoperasian dan pemeliharaan pompa harus tepat. Dari pengalaman inspeksi, terbukti bahwa thermography dapat mendeteksi anomali suatu komponen secara dini ketika masih beroperasi. Apabila diikuti dengan perbaikan sesegera mungkin, maka kegagalan komponen dapat dicegah. Hal ini akan dapat menjaga kesinambungan proses instalasi setiap saat.

- Ari Satmoko dan Abdul Hafid (2007) melakukan penelitian mengenai pemeliharaan pada jaringan listrik dengan thermography infra merah. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa model pemeliharaan prediktif dengan memantau suhu melalui inspeksi thermography merupakan model pemeliharaan yang tepat. Bahkan evaluasi lanjutan dari hasil thermography dapat mengarah pada pemeliharaan proaktif yang dapat memperpanjang umur operasi suatu peralatan. Apabila diikuti dengan perbaikan sesegera mungkin, maka kegagalan komponen dapat dicegah. Hal ini akan dapat menjaga kesinambungan ketersediaan listrik setiap saat.
- Ahmad Rifa'i (2011) melakukan penelitian tentang analisa kerusakan bearing motor induksi dengan metode thermography di PLTGU PJB UB gresik. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat

temperatur panas pada bantalan (*bearing*) motor induksi sehingga kerusakan bearing dapat dicegah. Setelah itu didapat penyebab utama kerusakan *bearing* tersebut karena adanya kesalahan pemilihan pelumas pada *bearing* sehingga umur bearing jadi lebih pendek.

- Candra Taruna R (2015) melakukan penelitian mengenai analisa panel tegangan rendah menggunakan infrared thermography (study kasus PT. Trias Indra Saputra). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kondisi sambungan busbar longgar didapatkan jatuh tegangan paling tinggi dari pada ketiga kondisi yang lainnya. Kondisi sambungan busbar berdebu juga didapatkan suhu paling tinggi dari ketiga kondisi lainnya. Dari kedua kondisi sambungan busbar yang longgar dan berdebu ini sangat berpengaruh besar terhadap kinerja sebuah panel listrik. pengecekan dan perbaikan secara berkala sangat diperlukan untuk menghindari kondisi panel yang kurang baik.
- I Wayan Widiana, Jakaria, Artadi Heru, dan Mulyono (2013) melakukan penelitian tentang Aplikasi termography infra merah dalam pemeliharaan prediktif motor *exhaust fan*. Dalam penelitian dilakukan terhadap dua buah motor dari sistem *exhaust* yaitu motor *fan 9* dan *fan 10*. Kedua motor tersebut memiliki fungsi yang sama tetapi dioperasikan bergantian. spesifikasinya adalah merek AEG dengan daya 11 KW, putaran 1495 rpm, $\cos \Theta$ 0.83, arus 23 amper. Dari penelitian ini terdapat anomali suhu pada kedua motor tersebut yaitu suhu pada motor *fan 9* mencapai 102 °C dan pada motor *fan 10*

yaitu 93 °C dan dapat dipastikan bahwa kedua motor tersebut mengalami *over heating*. indikasi tersebut harus ditindak lanjuti untuk mengurangi probabilitas terjadinya kegagalan operasi dengan meningkatkan kapasitas motor menjadi 10 KW dari kapasitas sekarang sebesar 11 KW. Dengan asumsi bahwa motor dengan kapasitas 18 KW mampu menerima beban dengan kondisi sistem *exhaust*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Manajemen Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan suatu alat atau mesin adalah:

a. Mempertahankan Efisiensi

Sebagai contoh, mobil baru mampu mencapai 10 km dengan konsumsi bensin 1 liter. Setelah mencapai jarak tempuh 10 km tanpa pemeliharaan, maka dengan konsumsi bensin 1 liter jarak tempuhnya hanya bisa mencapai 9 km. Setelah dilakukan pemeliharaan, barulah bisa mencapai 10 km lagi.

b. Mempertahankan Keandalan

Sebagai contoh, mobil yang tidak pernah dipelihara akan sering mogok di jalan, mesinnya mendadak mati dan sukar dihidupkan. Hal ini dapat disebabkan karena businya kotor atau saluran bahan bakarnya tersumbat yang pada dasarnya disebabkan karena tidak dilakukannya pemeliharaan.

c. Mempertahankan Umur Ekonomis

Jika diambil contoh mobil seperti butir a dan b di atas, maka apabila mobil diusahakan sebagai taksi, diperkirakan mempunyai umur ekonomis 5 tahun. Tetapi apabila pemeliharaannya tidak baik, maka sebelum mencapai umur 5 tahun, mobil bisa mengalami kerusakan parah, misalnya cincin pengisapnya bocor sehingga tidak ekonomis lagi untuk dioperasikan.

Tiga buah contoh sederhana diatas adalah untuk mobil, tetapi hal ini juga berlaku untuk unit pembangkit.

Dalam perkembangannya, pemeliharaan semula didasarkan atas periode waktu tertentu yang disebut sebagai pemeliharaan periodik. Kemudian berkembang sehingga tidak hanya pemeliharaan periodik saja tetapi juga ada pemeliharaan prediktif.

a. Pemeliharaan periodik

Pemeliharaan periodik adalah pemeliharaan alat menurut periode waktu tertentu berdasarkan baku petunjuk pabrik pembuat alat tersebut, misalnya untuk mesin diesel pembangkit listrik, setiap 3.000 jam perlu dilakukan pembersihan ruang silinder (*top overhaul*). Pemeliharaan periodik ini sesungguhnya juga bersifat pemeliharaan preventif dimana artinya pemeliharaan pencegahan sebelum terjadi kerusakan.

b. Pemeliharaan prediktif

Metode pemeliharaan yang mutakhir adalah pemeliharaan prediktif. Pada metode tersebut, pemeliharaan dilakukan atas dasar pengamatan

data dan informasi yang menyangkut alat yang akan dipelihara. Besaran-besaran yang perlu diamati untuk menentukan kapan suatu alat perlu dipelihara tergantung kepada macam alatnya. Secara umum besaran-besaran ini adalah:

- Tahanan Isolasi.

Misalnya, tahanan isolasi motor listrik. Apabila hasil pengukuran setiap bulannya menunjukkan kecenderungan menurun, maka dapat ditentukan kapan motor listrik tersebut harus menjalani pemeliharaan isolasi.

- Arus Beban Motor

Arus beban motor yang cenderung naik terus karena bebannya semakin berat, perlu diprediksi kapan perlu dilakukan pemeliharaan agar bebannya turun kembali. Hal ini terjadi pada motor penggerak pompa air pendingin kondensor PLTU yang menggunakan air laut. Binatang-binatang laut yang melekat pada pipa air pendingin menyebabkan luas efektif penampang pipa menjadi berkurang. Mengecilnya luas efektif penampang pipa ini menyebabkan gesekan air yang mengalir dalam pipa naik, selanjutnya menaikkan arus beban motor penggerak pompa. Untuk menghindari hal ini, pipa air pendingin perlu dibersihkan atau menjalani pemeliharaan dan hal ini memerlukan penghentian operasi unit pembangkit.

- Suhu Air Pendingin

apabila suhu air pendingin yang keluar dari suatu penukar panas (*heat exchanger*) cenderung menurun, maka hal tersebut menandakan bahwa peristiwa pertukaran panas yang terjadi didalam *heat exchanger* tidak berlangsung efektif karena *heat exchanger* kotor. Jika terjadi hal seperti ini, maka pada zat yang didinginkan, misalnya minyak pelumas, akan terjadi hal sebaliknya dimana suhunya cenderung naik. Hal ini disebabkan karena kerja *heat exchanger* berkurang efektifitasnya. Penurunan suhu air pendingin yang keluar dan kenaikan suhu zat yang didinginkan (minyak pelumas) yang terjadi dapat digunakan untuk memprediksi kapan *heat exchanger* ini harus dibersihkan atau menjalani pemeliharaan.

- Getaran dari Poros yang Berputar

Pengukuran getaran (*vibration*) dari poros yang berputar dapat menjadi masukan untuk memprediksi kapan bantalan dari poros tersebut perlu diganti. Pengamatan getaran poros ini sebaiknya juga di barengi dengan pengamatan tekanan dan suhu minyak pelumas bantalan. Apabila tekanan minyak pelumas turun atau suhu minyak pelumas naik, maka data ini harus digunakan sebagai masukan untuk memprediksi kapan bantalan akan diperiksa.

- Tekanan Minyak Pelumas

Tekanan minyak pelumas dari bantalan ataupun bagian-bagian lain yang bergeser, perlu diamati secara terus menerus. Tekanan minyak pelumas yang terlalu rendah dapat menimbulkan kerusakan pada bantalan ataupun bagian-bagian lain yang bergeser, seperti cincin torak atau pengisapan (*pinson ring*) pada mesin diesel. Tekanan minyak pelumas yang menurun menandakan adanya hal yang tidak normal dalam sistem pelumas, belum tentu karena adanya bantalan yang rusak, bisa jadi hanya karena adanya elemen saringan (*filter*) yang terbuat dari kertas perlu diganti. Penggantian ini dilakukan secara prediktif dengan mengawasi tekanan minyak pelumas.

- Kandungan Air

Pengamatan kandungan air dilakukan pada minyak transformator bersamaan dengan pengamatan tegangan tembusnya. Pada umumnya, tegangan tembus akan menurun apabila kandungan airnya naik. Dengan mengamati kedua hal ini, dapat diprediksi kapan minyak transformator perlu dibersihkan, yaitu dengan cara disaring untuk membuang kotoran dan dipanaskan untuk menghilangkan kandungan air.

- *Partial discharge*

Rusaknya suatu isolasi, misalnya isolasi kabel, umumnya dimulai dengan terjadinya *partial discharge* yang cenderung membesar. *partial discharge* adalah fenomena pelepasan muatan dari bagian-bagian bertegangan melalui isolasi yang ada disela-selanya. *Partial discharge* ini dapat dideteksi sedini mungkin dengan suatu alat yang termasuk penemuan mutakhir. Dengan mengamati *partial discharge* dari suatu isolasi, maka dapat diprediksikan kapan isolasi ini perlu diganti.

- Rekaman arus dan tegangan *switching*

Jika terjadi pembukaan atau penutupan (*switching*) PMT, baik dalam keadaan normal atau karena ada gangguan, rekaman arus dan tegangan merupakan masukan tentang kondisi PMT. Dari rekaman ini dapat dilihat ketiga kontak PMT membuka secara bersamaan atau tidak dan apakah ada kelainan pada kontak-kontak tersebut, baik mengenai bentuk maupun mengenai mekanisme penggerakannya. Analisis kontak PMT berdasarkan analisis rekaman arus dan tegangan saat *switching* ini akan lebih tepat apabila juga disertai dengan analisis foto sinar inframerah. Berdasarkan analisis-analisis tersebut di atas, dapat diprediksi kapan PMT yang bersangkutan perlu diperiksa atau dipelihara.

- Rekaman Frekuensi

Rekaman frekuensi diperlukan apabila terjadi gangguan besar dalam sistem sehingga timbul pemadaman sebagai akibat adanya unit pembangkit yang *trip*.

- Sinar Inframerah

sinar inframerah yang dipancarkan oleh suatu alat, sesungguhnya juga menggambarkan suhu dari (bagian-bagian) alat tersebut. Jika ada perbedaan suhu dari bagian-bagian sebuah alat, maka sinar inframerah yang dihasilkan oleh bagian-bagian alat ini intensitasnya juga berbeda. Makin tinggi suhunya, makin tinggi intensitas inframerah yang dipancarkan. Dengan menggunakan kamera sinar inframerah, maka foto sebuah alat yang memancarkan sinar inframerah dapat dianalisis, misalnya jika terdapat kontak yang rusak dari sebuah sambungan listrik, maka pada foto tersebut akan terlihat warna yang lebih terang dibagian kontak yang kendor ini, karena bagian kontak yang kendor ini suhunya lebih tinggi dari pada bagian lainnya sehingga pancaran sinar inframerahnya juga lebih tinggi. Dengan melakukan analisis foto sinar inframerah, dapat dilakukan analisis kondisi berbagai alat listrik, seperti: penghantar, saklar-saklar tegangan tinggi maupun tegangan rendah, generator transformator, isolator, dan bantalan. Berdasarkan analisis foto sinar inframerah

tersebut diatas, dapat diprediksi kapan alat listrik alat listrik tersebut perlu dipelihara atau diganti. Analisis foto sinar inframerah juga dapat digunakan pada proses produksi suatu zat yang mengharuskan terjadinya suhu yang rata. Apabila suhunya tidak rata, maka hal ini akan tampak pada foto sinar inframerah.

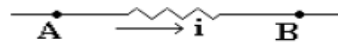
2.2.2 Pengertian *Thermography*

Thermography adalah suatu ilmu yang mengumpulkan dan melakukan analisa dari informasi thermal dari kamera infra merah. *Termography* termasuk dalam metode *nondestructive testing* (NDT) yaitu pengujian atau pemeriksaan tanpa merusak yang berguna untuk mendeteksi koneksi yang buruk, beban tidak seimbang, isolasi yang memburuk, atau masalah lain yang berpotensi pada komponen listrik berenergi. Masalah-masalah ini dapat menyebabkan penggunaan daya berlebih, peningkatan biaya pemeliharaan, atau kegagalan peralatan yang mengakibatkan gangguan layanan yang tidak terjadwal, kerusakan peralatan, atau masalah lainnya.

Thermography didasarkan pada penginderaan panas yang dipancarkan dari permukaan suatu benda dalam bentuk radiasi inframerah. instrumen tes yang digunakan untuk mendeteksi dan mengkonversi radiasi inframerah menjadi nilai suhu atau gambar termal, yang dapat digunakan untuk menilai kondisi termal objek pada saat pengukuran. Kamera

inframerah adalah salah satu jenis umum dari perangkat pencitraan thermal inframerah.

Sistem energi listrik menghasilkan panas karena hambatan listrik. Hubungan antara tegangan, kuat arus, dan hambatan dari suatu konduktor dapat diterangkan berdasarkan hukum OHM. dalam suatu rantai aliran listrik, kuat arus berbanding lurus dengan beda potensial antara kedua ujung-ujungnya dan berbanding terbalik dengan besarnya hambatan kawat konduktor biasanya dituliskan sebagai “R”



$$i = \frac{V_A - V_B}{R} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

I = Kuat arus

VA-VB= Beda potensial titik A dan titik B

R = Hambatan

Besarnya hambatan dari suatu konduktor dinyatakan dalam

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

R= Hambatan (Ω)

l= Panjang konduktor(m)

A= Luas penampang (m^2)

ρ = Hambatan jenis atau resistivitas (m)

Dari hubungan diatas dapat disimpulkan bahwa: hambatan berbanding lurus dengan konduktor. Hambatan berbanding terbalik dengan luas penampang konduktor. Hambatan berbanding lurus dengan resistivitas atau hambat jenis dari konduktor tersebut. Harga dari hambatan jenis/resistivitas antara nol sampai tak terhingga

$P=0$ Disebut sebagai penghantar sempurna (Konduktor ideal)

$P=\infty$ Disebut penghantar jelek (isolator ideal)

Jumlah panas yang dihasilkan adalah terkait dengan jumlah arus yang mengalir melalui sistem dan perlawanan dari komponen sistem individual dan koneksi dalam sistem. Ketika komponen memburuk, peningkatan tahanannya, menyebabkan peningkatan panas. Demikian pula, koneksi yang buruk akan membuat komponen memiliki tahanan yang lebih tinggi dari pada koneksi yang baik, bersamaan dengan temperatur yang lebih tinggi. *Thermography* dapat digunakan untuk mendeteksi perbedaan suhu tersebut.

Cara kerja kamera *thermography* adalah dengan sistem pencitraan infra merah yang dapat mendeteksi energi infra merah. Semua objek (bahkan yang dingin) memancarkan panas dalam bentuk energi inframerah. Ketika objek memanans, itu akan memancarkan lebih banyak energi, dan panjang gelombang menjadi lebih pendek. Radiasi inframerah, cahaya tampak dan sinar ultraviolet adalah bentuk energi dalam spektrum elektromagnetik. Satu-satunya perbedaan adalah panjang gelombang mereka. Mata manusia hanya dapat melihat rentang kecil warna dalam spektrum elektromagnetik. Gelombang cahaya ini berkisar panjang 0,4-0,7

mikron. Jika sebuah objek mendapat cukup panas, energi akan mencapai kisaran terlihat dan objek akan "bersinar" merah, seperti *burner* pada kompor listrik. Untungnya, sistem pencitraan inframerah dapat mendeteksi energi infra merah jauh sebelum mencapai tahap terlihat.

Kamera inframerah yang modern juga menyediakan pembacaan suhu yang sebenarnya, dan menyimpan data, sehingga informasi yang dapat kemudian digunakan untuk menghasilkan laporan.

2.2.3 Kamera Thermography

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera thermography FLIR T620, dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.1



Gambar 2.1 Kamera Thermography FLIR T620

(Sumber: CBM (*condition based maintenance*))

Kamera pada gambar 2.1 merupakan kamera thermography FLIR T620 yang dapat memindai dan memvisualisasikan distribusi suhu permukaan seluruh mesin dan peralatan dengan cepat dan akurat.

Tabel 2.1 Spesifikasi Kamera Thermography FLIR T640

Parameter Ukur	Besaran dan Satuan Ukur
Accuracy	+/-2°C (+/-3.6°F) or +/-2% of reading, whichever is greater, at 25°C (77°F) nominal
Thermal Resolution	(640 × 480) Pixel
Thermal Sensitivity	<0.04°C @ 30°C
Temperature Range	-40°F to 1,202°F (-40°C to 650°C)
Measurement Presets	6 presets: center spot; hot spot (box max); cold spot (box min); no measurements; user preset 1; user preset 2
Spot Mode	10 moveable
Frame Rate	30 Hz
Field of View	25° × 19°
Optional Lenses	25°, 7° & 15° Tele, 45° & 80° Wide; Close up: 100 μm, 50 μm, 25 μm
Focus	Manual & Automatic
Min. Focus Distance	0.82 ft (0.25 m)
Display Size	4.3"
Touchscreen	Capacitive touch screen
Min. Focus Distance	0.82 ft (0.25 m)

Parameter Ukur	Besaran dan Satuan Ukur
Battery Operating Time	>2.5 hrs
Built-in Digital Camera	5 MP
Laser Pointer + Laser Locator (on IR image)	Included
Digital Zoom	2×, 4× and 8×
IR Window Correction	Included
Difference temperature/Delta T	Included
Picture in Picture	Scalable & Moveable
Weight (including battery)	2.87 lbs (1.3 kg)

2.2.4 Bagian-Bagian Kamera *Infrared Thermography*

Bagian-bagian kamera infrared thermography dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Bagian-bagian kamera Infrared Thermography

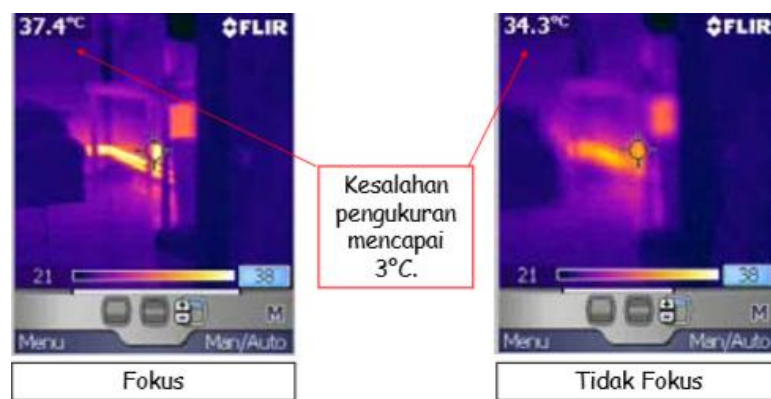
Keterangan :

1. Rotating optical block: Untuk memudahkan dari sudut yang sulit.
2. T640 view finder: Digunakan untuk memudahkan penelitian dilingkungan yang terang.
3. Layar 4,3 Inch touchscreen: Bisa dioperasikan dengan tangan.
4. DIOPTER
5. Tombol auto focus :Untuk mengambil gambar lebih fokus
6. Lampu LED dan laser pointer: Untuk obyek yang kurang bercahaya
7. Kamera digital terintegrasi
8. Manual fokus

2.2.5 Kaidah pengukuran

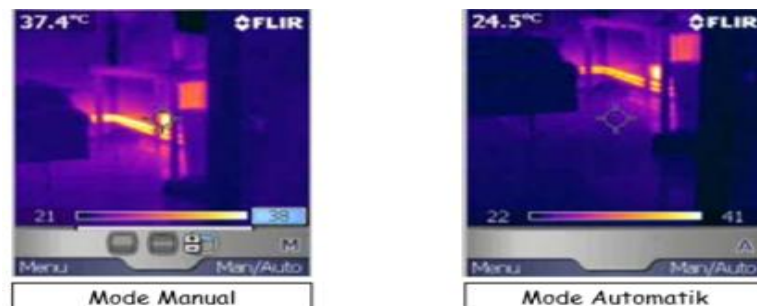
Kaidah pengukuran yang harus dilakukan untuk mendapatkan gambar yang maksimal dan hasil yang akurat sesuai dengan ketentuan sebagai berikut, data setiap pengambilan sumber diusahakan

1. Untuk mendapat gambar yang baik dan fokus. Jika gambar tidak baik dan tidak fokus, maka pengukurannya menjadi salah.



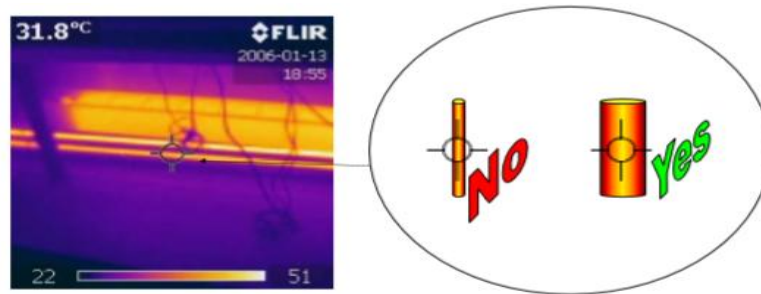
Gambar 2.3 Perbedaan Gambar Fokus dan Tidak Fokus

2. Secara umum, banyak kamera dapat mengadaptasikan skala secara otomatis. Oleh karena itu, dapat digunakan mode ini pada awalnya, tetapi tidak tertutup kemungkina kita melakukan penyetelan secara manual. Pilihlah palette warna yang sesuai.

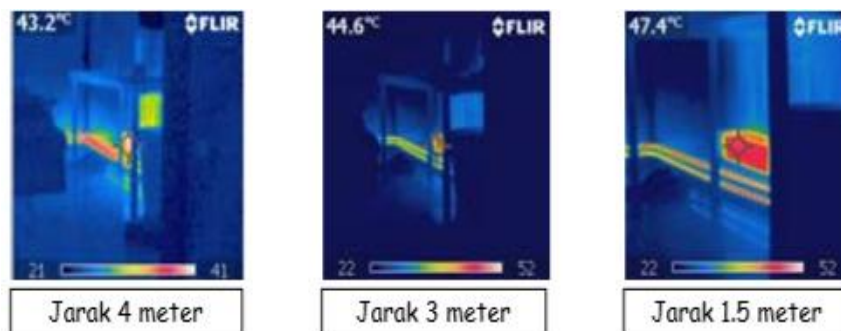


Gambar 2.4 Perbedaan Mode Manual dan Automatik

3. Target yang diinginkan harus melingkupi seluruh spot. Sedapat mungkin gambar dapat diambil pada jarak terdekat yang bisa dicapai.

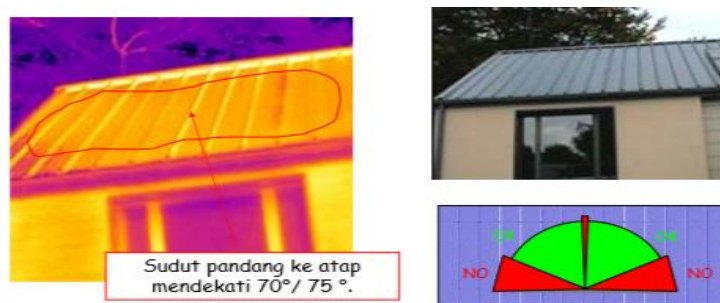


Gambar 2.5 Spot Objek Terkover



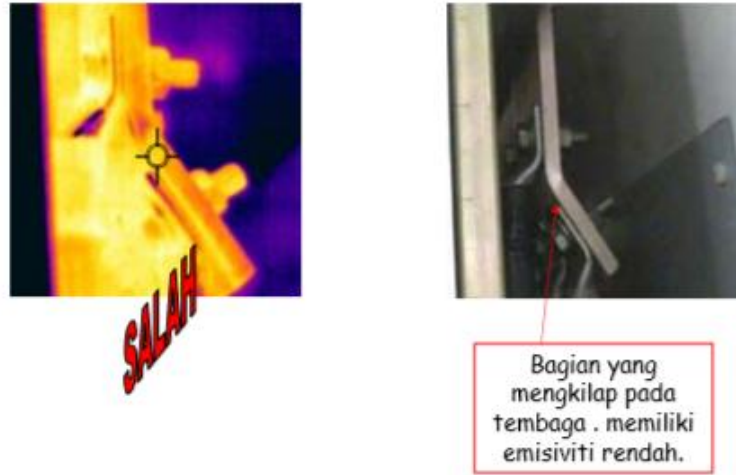
Gambar 2.6 Hasil Gambar Dengan Perbedaan Jarak

4. Saat pengambilan gambar dapat perhatikan sudut pandang, diusahakan untuk tidak mengambil gambar objek pada sudut lebih besar dari 45/50°. Saat berhadapan dengan objek, dapat terjadi berhadapan dengan pantulan dari badan kita.



Gambar 2.7 Hasil Gambar Dengan Sudut Yang Tidak Sesuai

5. Suatu daerah objek harus memiliki emisivitas yang paling tinggi untuk melakukan pengukuran temperatur.



Gambar 2.8 Hasil Gambar dengan Daerah Objek Yang Tidak Sesuai

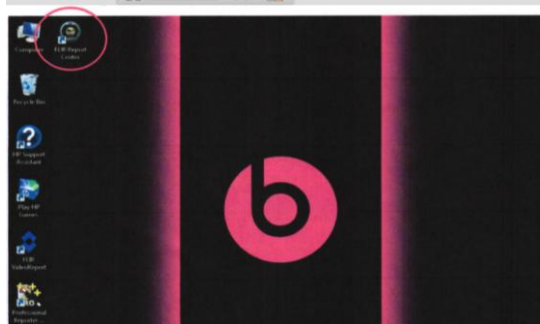
6. Gambar infra merah yang didapat dan gambar *visible* kemudian disimpan dikamera digital.
7. Gambar yang telah didapat tersebut diolah untuk mencari perbedaan suhu antara fasa R , S, dan T menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta T = \text{nilai suhu tertinggi} - \text{nilai suhu terendah} \dots\dots\dots (2.1)$$

8. Selanjutnya dianalisis dianalisa berdasarkan tabel standar pengukuran thermography.

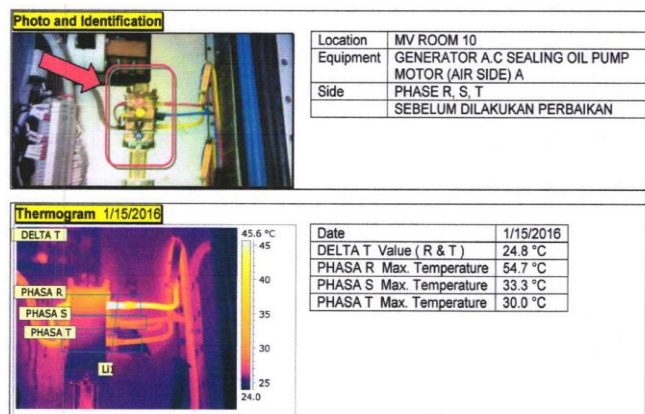
2.2.6 Analisis data menggunakan Program Flir Report Center

Selain menggunakan rumus rumus pada persamaan (3.1) untuk mengetahui perbedaan suhu antar fasa maka salah satu program yang digunakan adalah program Flir report center seperti ditunjukkan pada gambar 2.9 sampai dengan gambar 2.11

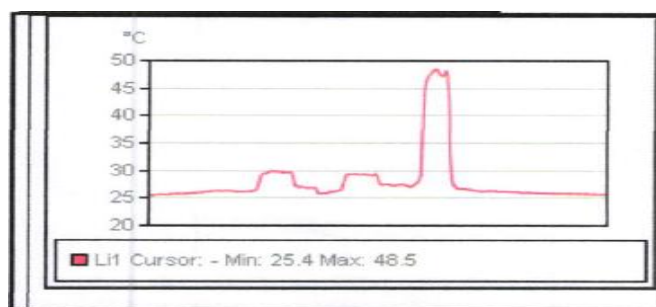


Gambar 2.9 Tampilan Program Flir Report Center

Dengan menggunakan Program Flir Report Center maka pekerjaan yang dilakukan akan menjadi lebih mudah karena Setelah informasi sudah diisi dan klik finish ,maka seara otomatis laporan sudah terbuat dalam bentuk microsoft word,seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Gambar Hasil Dari program



Gambar 2.11 Tampilan Grafik

2.2.7 Standart Pengukuran

Tabel 2.2. Standar Pengukuran *Thermography*

Standard Inspeksi Thermography					
Differerntial Temp Maximum Temp	< 5°C	5°C- 10°C	11°C- 20°C	21°C- 40°C	> 40°C
< 75°C	Normal	Rendah	Menengah	Tinggi	kritis
75°C - 100°C	Peringatan beban lebih	Menengah	Tinggi	kritis	kritis
>100°C	Peringatan beban yang tinggi	kritis	kritis	kritis	kritis
RENDAH	Memerlukan pemantauan dan pemeriksaan lebih awal				
MENENGAH	Memerlukan Perhatian				
TINGGI	Memerlukan perhatian sesegera mungkin				
KRITIS	Memerlukan perhatian ketika adanya gangguan				

2.2.8 Manfaat Temperatur

Temperatur merupakan variabel yang paling mudah dipantau. Hampir semua fenomena alam akan mengakibatkan terjadinya perubahan temperatur. Pengukuran temperatur dapat dilakukan baik secara kontak maupun non-kontak. Sebagian besar pengukuran dengan metode kontak dilakukan dengan menggunakan termometer dan termokopel. Sedangkan pengukuran non-kontak menggunakan sensor infra merah yang semakin banyak

dikembangkan dan mulai banyak digunakan. Pengukuran non-kontak didasarkan pada teori Plank, bahwa semua benda yang bertemperatur di atas 0° K memancarkan sinar infra merah. Besarnya intensitas terutama bergantung pada temperatur material. Namun demikian lingkungan sekitar, sifat-sifat permukaan bahan, jenis bahan dan lain-lain turut memberikan kontribusi pada intensitas pancaran infra merah. Parameter-parameter tersebut bersifat *noise*, sehingga harus turut diperhatikan pada waktu menganalisis pola distribusi temperatur. Karena *noise* tersebut sangat sulit untuk dikoreksi secara numerik, pola distribusi temperatur yang dihasilkan lebih bersifat kualitatif.

Dibanding model kontak, pengukuran non-kontak mempunyai keunggulan-keunggulan berupa tidak mengganggu pengoperasian, memonitor dari jarak jauh, akuisisi lebih cepat dan menghasilkan distribusi atau pola panas pada permukaan sebuah benda. Sekarang ini, telah tersedia kamera yang dapat merekam pancaran infra red dari suatu permukaan benda. Dengan demikian distribusi atau pola temperatur pada suatu permukaan benda dapat dimonitor.

Dalam tugas akhir ini, topik yang dibahas adalah teknik *thermography*. Dengan teknik ini suatu pemantauan kondisi dilakukan melalui pengukuran panas dengan mengukur temperatur absolut ataupun relatif pada bagian tertentu dari sebuah peralatan. Temperatur abnormal yang sering disebut dengan istilah titik panas atau *hot spot* mengindikasikan adanya masalah yang sedang berkembang.

2.2.9 Model Pemeliharaan

Kegagalan suatu komponen merupakan akibat dari suatu proses penuaan material yang berjalan dengan waktu. Proses degradasi ini tidak dapat dihindari, namun dapat dikendalikan melalui kegiatan pemeliharaan yang tepat. Dewasa ini dikenal empat model pemeliharaan: *breakdown maintenance*, pemeliharaan preventif, pemeliharaan prediktif dan pemeliharaan proaktif.

. Dalam filosofi *breakdown maintenance*, perbaikan dilakukan setelah mengalami kerusakan. Dalam hal ini kegagalan atau kecelakaan sudah telanjur terjadi. Korban bukan hanya sekedar materi namun juga nyawa manusia. Biaya yang diakibatkan cenderung mahal dan bisa berdampak domino pada sektor lain seperti hilangnya kepercayaan masyarakat. Sedangkan, pemeliharaan secara preventif mengacu pada penggantian komponen sesuai perkiraan waktu umur. Strategi seperti ini diperkirakan dapat menghemat biaya sekitar 75% dibanding *breakdown maintenance*[1]. Namun, model pemeliharaan preventif memiliki kelemahan karena tidak melihat apakah komponen tersebut masih berkondisi bagus atau tidak. Atau mungkin saja, kesalahan desain maupun kesalahan pengoperasian mengakibatkan sebuah komponen mempunyai umur di bawah perkiraan. Hal ini dapat mengarah pada kecelakaan dini. Oleh karena itulah dikembangkan pemeliharaan secara prediktif yang didasarkan pada pantauan suatu kondisi atau kinerja suatu peralatan. Kondisi yang dimonitor bisa saja vibrasi, temperatur, unjuk kerja, unsur kimia dan lain-lain. Dengan pantauan secara

rutin, kejanggalan suatu kondisi dapat terdeteksi secara dini. Pemeliharaan secara prediktif dapat menghemat biaya sekitar 60% dibanding pemeliharaan secara preventif. Sedangkan pemeliharaan proaktif mengacu pada suatu kegiatan pemeliharaan yang bertujuan mengantisipasi terjadinya kegagalan. Revisi desain ataupun penambahan komponen dalam rangka memperpanjang umur suatu peralatan merupakan salah satu contoh dalam kategori pemeliharaan secara proaktif. Hal ini dapat dilakukan karena fenomena yang dapat merusak peralatan diketahui secara pasti.

2.2.10 Inspeksi *Thermography* Pada Jaringan Listrik

Mengingat listrik merupakan jenis energi yang sangat vital, maka kesinambungan ketersediaan listrik perlu dijaga setiap saat. Kegagalan suatu komponen akan dapat berakibat pada berhentinya pasokan listrik. Untuk menghindari hal tersebut, pengoperasian dan pemeliharaan sistem kelistrikan harus tepat.

Model *breakdown maintenance* merupakan pilihan yang harus dihindari. Kegagalan komponen listrik yang berakibat pada terhentinya suplai listrik dapat mengakibatkan kerugian berantai seperti terhentinya proses produksi. Pemeliharaan preventif memang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan. Namun model pemeliharaan ini tidak dapat mendeteksi suatu kesalahan pada waktu desain, konstruksi maupun pengoperasian. Pemeliharaan preventif juga relatif membutuhkan biaya besar. Disinyalir bahwa di Amerika Serikat, banyak pengeluaran-pengeluaran pemeliharaan yang sebenarnya tidak perlu dilakukan. Para manager berusaha untuk

menghemat biaya melalui efisiensi pemeliharaan. Karena berbagai alasan itulah, pemeliharaan prediktif melalui pemantauan kondisi pada jaringan listrik mulai banyak diterapkan. Berawal dari pembelajaran pengalaman operasional, ada kalanya hasil diagnosa pemeliharaan prediktif dapat pula menghasilkan suatu tindakan antisipatif dengan tujuan untuk menghindari permasalahan serupa. Kegiatan ini sudah termasuk pemeliharaan proaktif. Pemeliharaan prediktif yang diikuti dengan pemeliharaan proaktif ini dapat memperpanjang umur operasi suatu komponen listrik yang tentu saja dapat menambah nilai kompetitif.

Termografi berlandaskan pada perubahan temperatur. Hal ini mudah diaplikasikan pada jaringan listrik dengan membiarkan arus yang mengalir melalui suatu komponen. Dengan demikian, temperatur yang terukur bukan temperatur ambient, melainkan temperatur komponen yang sedang beroperasi. Semakin besar daya yang diterapkan, semakin besar arus yang mengalir dan semakin banyak panas *disipasi*. Namun, hubungan temperatur, tahanan dan beban listrik tidak linear.

Penembakan dengan kamera infra merah pada jaringan listrik yang sedang beroperasi menghasilkan sebuah pola temperatur pada permukaan sebuah benda. Peralatan yang mengalami penurunan unjuk kerja akan menghasilkan suatu fenomena anomali. Melalui interpretasi tertentu, sumber panas yang menghasilkan pola penyimpangan temperatur tersebut dapat ditelusuri. Dengan diketahuinya penyebab penyimpangan temperatur sedini mungkin, perbaikan ataupun perawatan suatu komponen listrik dapat dilakukan jauh

sebelum komponen tersebut mengalami kegagalan. Dengan demikian kegagalan komponen atau bahkan kecelakaan yang mungkin timbul dapat dicegah.

Thermography infra merah telah banyak digunakan untuk menginspeksi komponen-komponen pada sistem jaringan listrik, seperti misalnya jalur distribusi, sekering, MCB, *bus bar*, kontaktor, panel distribusi, kabel listrik, papan *switching*, trafo, beban tidak merata, beban berlebih, dan sebagainya. Penerapan teknik *thermography* tidak hanya terbatas pada tegangan tinggi, namun dapat pula diterapkan pada jaringan menengah dan rendah. Bahkan, *thermography* juga diterapkan untuk memeriksa komponen elektronik ataupun papan PCB.

2.2.11 Prosedur Aplikasi Teknik *Thermography*

Inspeksi *thermography* dilakukan dengan melakukan pemeriksaan distribusi temperatur pada kabel atau permukaan komponen-komponen listrik menggunakan kamera infra merah. Pola temperatur yang dihasilkan dievaluasi dengan teknik-teknik tertentu. Apabila terdapat pola temperatur yang dianggap tidak normal, maka penelusuran harus dilakukan untuk mencari penyebab ketidaknormalan tersebut. Keunggulan dari teknik *thermography* adalah dapat memberikan adanya ketidak-abnormalan suatu pola temperatur secara cepat. Hampir 75% kelainan yang dijumpai pada jaringan listrik adalah masalah koneksi.

Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa di sekitar lokasi tersebut terdapat komponen yang disebut dengan koil (semacam relay berjenis

kumparan). Apabila kumparan ini diaktifkan maka inti besi yang dililit kumparan tersebut berubah menjadi magnet dan menarik sebuah pelat logam. Diduga karena dimakan usia, inti besi dan pelat logam telah terdegradasi sehingga permukaan kontakannya tidak lagi sempurna. Akibatnya timbul tahanan listrik pada titik tersebut yang mengakibatkan *disipasi* panas berlebih.

2.2.12 Kelebihan dan *Efektifitas* Penggunaan Teknik *Thermography*

Thermography inframerah mempunyai beberapa keunggulan sehingga thermography ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai keadaan. Salah satu keunggulan yang dimiliki thermography inframerah adalah mempunyai ketelitian yang baik. Dengan deteksi thermography inframerah perbedaan suhu $0,1^{\circ}\text{C}$ dapat terukur (Ari satmoko:2008). Citra gambar yang diperoleh melalui pengukuran thermography mampu menghasilkan pola perbedaan warna benda yang memiliki perbedaan suhu $0,1^{\circ}\text{C}$ sehingga analisis gambar akan dapat dilakukan dengan baik. Keunggulan thermography inframerah lainnya adalah mampu menghasilkan citra ketidak normalan pola temperatur sebuah benda dengan cepat (Ari Satmoko, Abdul Hafid:2007).

keuntungan deteksi radiasi secara tak langsung adalah dapat memonitor dari jarak jauh, menentukan akurasi lebih cepat dan menghasilkan pola panas pada permukaan benda. Keunggulan thermography dengan inframerah ini menyebabkan thermography inframerah dapat dilakukan kapan saja, cepat dan akurat (Ari Satmoko, Abdul Hafid:2007). Selain itu penggunaan thermography inframerah yang dilakukan tanpa kontak langsung

menyebabkan thermography dapat mendeteksi obyek yang sedang bergerak. Keuntungan penggunaan thermografi tak langsung adalah mengetahui langsung distribusi panas suatu objek tanpa kontak langsung dan tanpa menghentikan kegiatan operasional objek yang diteliti, mengurangi "Down Time" dan meningkatkan keandalan dan efisiensi (sanggul siregar:2007).

2.2.13 Penyebab Terjadinya Panas Pada Panel Listrik

Proses penuaan yang ditandai dengan degradasi material adalah suatu proses yang tidak bisa dihindari, namun masih dapat dikendalikan. Di bidang kelistrikan, proses degradasi material dapat menyebabkan cacat pada komponen dan permukaan sentuh. Cacat tersebut dapat mengurangi sifat konduktor listrik. Dengan naiknya tahanan listrik, maka arus yang mengalir menjadi terhambat. Akibatnya efek *Joule* menghasilkan panas *disipasi* berlebihan.

Hukum joule sendiri adalah daya listrik yang hilang sebagai kalor, akibat arus listrik yang mengalir dalam hambatan adalah berbanding lurus dengan kuadrat kuat arus dan hambatannya. dan hukum ini dikemukakan oleh james prescott joule (1840). dan juga hukum kalor menuliskan bagaimana tenaga listrik diubah ke dalam energi termal. Di dalam hukum joule beda potensial adalah kerja yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan untuk medan. Misalnaya saja pada suatu rangkaian, akibat adanya beda potensial V , timbul I , maka pada setiap detiknya akan ada I coulomb yang dipindahkan dan ada

V.I joule kerja yang dibutuhkan jadi dapat dituliskan persamaan rumusnya adalah:

$$P=V.I \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

P= Daya I= Arus V= Tegangan

Jadi kesimpulanya daya ini dikeluarkan didalam kawat tiap detiknya,dan daya ini akan hilang sebagai panas.

Panas dapat ditimbulkan berasal dari E yang mempercepat pergerakan elektron, kemudian terjadi tabrakan yang dapat menyebabkan elektron akan kehilangan energinya kedalam bagian-bagian bahan dan tumbukan elektron-elektron akan semakin keras. Otomatis kecepatan tumbukan bertambah dan getaran partikel menjadi besar akibatnya temperatur bahan akan naik. Dari kejadian diatas timbullah panas yang disebabkan oleh arus. Dan juga energi yang hilang dikawat oleh arus I selama t detik. Jadi secara matematis dapat didapat persamaan rumus:

$$W=V.I.t \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

W= Watt I= Arus

V= Tegangan t= Waktu

Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P=I^2.R \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

P= Daya R= Hambatan I= Arus

2.2.14 Permasalahan Pada Panel

permasalahan pada panel tegangan rendah sangat bervariasi. Berikut beberapa permasalahan yang biasanya terjadi pada panel tegangan rendah.

a. *Voltage Unbalance*

voltage unbalance artinya tegangan pada ketiga fasanya tidak sama, ini dapat menimbulkan permasalahan serius pada motor dan peralatan-peralatan listrik dengan sistem induksi tiga fasa.

Kondisi unbalance lebih sering disebabkan oleh variasi dari beban. Ketika beban satu fasa dengan fasa yang lain berbeda, maka saat itulah kondisi unbalance terjadi. Hal ini disebabkan oleh pendansi, type beban, atau jumlah beban berbeda satu fasa dengan fasa yang lain.

b. Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang yang terdistorsi secara periodik yang terjadi pada gelombang tegangan, arus, atau daya terdiri dari gelombang-gelombang sinus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat frekuensi sumber, sehingga bentuknya tidak sinusoidal. Peran harmonisa pada sistem tenaga listrik cukup besar, terutama pada alat-alat yang terdapat pada sistem tenaga. Harmonisa akan menimbulkan beberapa dampak seperti panas berlebih pada beberapa alat seperti generator dan transformator karena kecenderungan harmonisa mengalir ke tempat dengan impedansi yang lebih rendah.

Harmonisa pada sistem tenaga listrik akan menyebabkan timbulnya rugi-rugi pada konduktor kabel atau kawat transmisi, generator sinkron, transformator, sistem proteksi, motor listrik dan peralatan listrik lainnya.

c. Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk, seperti badai, hujan, dingin, bencana, seperti angin ribut, gempa bumi, petir, aktifitas konstruksi, runtuhnya pohon, dan lain-lain.

d. *Overheating*

Akar penyebab *overheating* pada sistem listrik biasanya disebabkan oleh koneksi yang kendor, getaran atau stres termal yang berdampak pada koneksi dalam sistem distribusi tenaga listrik memburuk. Jika kondisi ini dibiarkan terus-menerus maka oksida akan membangun pada interface koneksi, menyebabkan resistensi meningkat. Pada akhirnya hal ini akan mengakibatkan apa yang disebut “koneksi bercahaya” yang dapat menghasilkan panas yang signifikan. Panas yang dihasilkan sangat terfokus dan dapat menyebabkan kegagalan isolasi atau kebakaran jika sumber bahan bakar yang mudah terbakar berada di dekatnya.

Ekstrim distorsi dan beban berat juga dapat menyebabkan *Overheating* pada peralatan listrik, terutama dalam sistem distribusi yang lebih tua, Alat yang paling umum sebagai pengukuran untuk memeriksa *Overheating* atau kecenderungan terhadap *overheating* adalah *infrared thermography*.

e. Voltage Drop

Voltage drop atau jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. jatuh tegangan berbanding lurus dengan panjang saluran dan bebanserta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan dalam besaran volt. jatuh tegangan secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. jatuh tegangan ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. jatuh tegangan V pada penghantar semakain besar jika arus I didalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar R semakin besar pula.

2.2.15 Pengertian Panel Listrik

Panel listrik terbentuk berdasarkan susunan komponen listrik yang sengaja disusun dalam sebuah papan kontrol, sehingga dapat memudahkan penggunaannya. Panel listrik berfungsi untuk membagi, menyalurkan, dan mendistribusikan tenaga listrik dari sumber/pusat listrik ke konsumen/pemakai. Panel listrik dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Panel daya: Merupakan sebuah tempat untuk menyalurkan serta mendistribusikan energi listrik dari gardu induk step down kepada panel-panel distribusi.
2. Panel distribusi: Merupakan tempat penyaluran serta mendistribusikan energi listrik dari panel daya kepada beban panel atau konsumen baik untuk instalasi tenaga, penerangan, dan lain sebagainya.

2.2.16 Komponen Panel Listrik

Untuk lebih mengenal fungsi dari panel listrik terlebih dahulu mengenal komponen-komponen panel listrik dan harus memahami fungsi dari bagian-bagian listrik itu sendiri. Berikut beberapa komponen panel listrik beserta fungsinya:

a. Kontaktor

Kontaktor adalah saklar yang bekerja secara magnetik yaitu kontak yang bekerja apabila kumparan diberi energi listrik. Kontaktor magnetis sebagai alat yang di gerakkan secara magnetis untuk menyambung dan membuka rangkaian daya listrik. Kontaktor di rancang untuk menyambung dan membuka rangkaian daya listrik tanpa merusak. Beban-beban tersebut antara lain lampu, pemanas, transformator, kapasitor, dan motor listrik.



Gambar 2.12 kontaktor

(Sumber:<http://www.lentera-kita.com/2015/07/pengertian-kontaktor-dan-prinsip.html>)

Sebuah kontaktor terdiri dari coil, beberapa kontak *normally open* (NO) dan beberapa *normally close* (NC). Pada satu kontaktor normal, NO akan membuka dan pada saat kontaktor bekerja, NO akan menutup. Sedangkan kontak NC sebaliknya yaitu ketika dalam keadaan normal kontak NC akan menutup dan dalam keadaan bekerja kontak NC akan membuka. *Coil* adalah lilitan yang ketika diberi tegangan akan terjadi magnetisasi dan menarik kontak-kontaknya sehingga terjadi perubahan atau bekerja. Kontaktor yang dioperasikan secara elektromagnetik adalah salah satu mekanisme yang paling bermanfaat yang pernah dirancang untuk penutupan dan pembukaan rangkaian listrik. Kontaktor termasuk saklar motor yang digerakkan oleh *magnet* seperti yang telah di jelaskan di atas. Apabila jepitan a dan b diberi tegangan, maka magnet akan menarik jangkar sehingga kontak-kontak bergerak yang berhubungan dengan jangkar tersebut tertarik. Tegangan yang harus dipasangkan adalah tegangan bolak-balik (AC) maupun tegangan (DC), tergantung dari bagaimana magnet tersebut dirancang. Untuk beberapa keperluan digunakan juga kumparan arus (bukan tegangan), akan tetapi dari segi produksi lebih disukai kumparan tegangan karena besarnya tegangan umumnya sudah dinormalisasi.

Menurut IEC (*international electrotechnical commission*) connector dari kontaktor diberi tanda-tanda seperti berikut:

a,b : terminal coil kontaktor (connector dari magnetic coil)

1,3,5: terminal kontak utama sebagai input (hubungan suplai daya)

rangkaian utama), 3 pole

2,4,6 :terminal kontak utama sebagai output (hubungan beban dari rangkaian utama)

13,14 :kontak bantu Normally Open (NO)

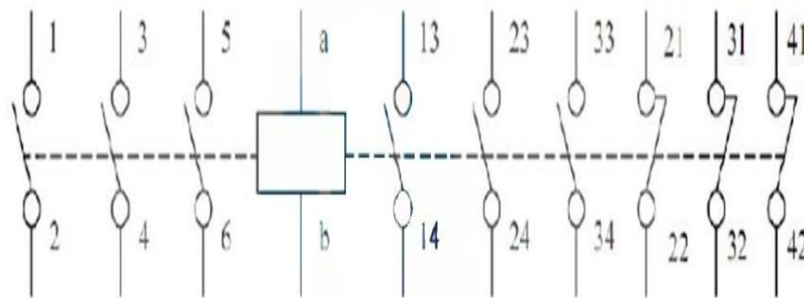
21,22 :kontak bantu Normally Closed (NC)

23,24 :kontak bantu Normally Open (NO)

31,32 :kontak bantu Normally Closed (NC)

33,34 :kontak bantu Normally Open (NO)

41,42 :kontak bantu Normally Closed (NC)

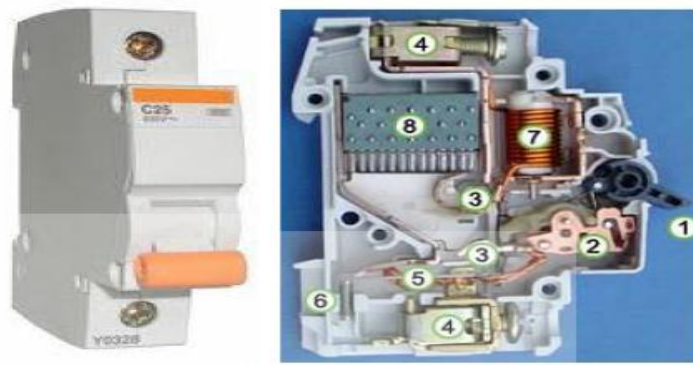


Gambar 2.13 Penomoran pada kontak kontaktor

(sumber: Roby candra taruna 2015)

b. *Miniatur Circuit Breaker (MCB)*

Miniatur circuit breaker adalah peralatan listrik yang di gunakan untuk memutuskan rangkaian listrik bila terjadi gangguan beban lebih (*over load*) atau gangguan hubung singkat (*short circuit*).



(a)

(b)

Gambar 2.14 konstruksi MCB (a) dan bagian-bagian MCB (b)

(sumber: Roby candra taruna 2015)

Keterangan gambar (b):

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Tuas operasi strip | 5. Bimetal |
| 2. Aktuator mekanis | 6. Sekrup kalibrasi |
| 3. Kontak bergerak | 7. Kumparan magnetis |
| 4. Terminal | 8. Ruang busur api |

MCB dilengkapi dengan pengaman *thermal over load* dan pengaman arus hubung singkat. Pengaman *thermal over load* ini menggunakan prinsip dasar kerja bimetal, sedangkan pengaman arus hubung singkat menggunakan prinsip kerja elektromagnetik.

c. *Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)*

moulded case circuit breaker merupakan alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman pemutus sukit tegangan menengah dan juga sebagai alat penghubung. MCCB banyak digunakan untuk memutuskan rangkaian

listrik jika terjadi gangguan beban lebih (*over load*) atau gangguan hubung singkat (*short circuit*). MCCB dalam penggunaannya dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan atau pengamanan ini mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai yang diinginkan.



Gambar 2.15 konstruksi MCCB

(sumber: <https://terasakimalaysia.wordpress.com/molded-case-circuit-breaker-tembreak2-new-compact-breaker-catalog/>)

Dalam memilih circuit breaker hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah :

Karakteristik dari sistem dimana *circuit breaker* tersebut dipasang , yaitu dengan memperhatikan:

- a. Sistem tegangan

Tegangan operasional dari *circuit breaker* harus lebih besar atau minimum sama dengan tegangan sistem.

b. Frekuensi sistem

Frekuensi pengenal dari *circuit breaker* sesuai dengan frekuensi sistem.

c. Arus pengenal

Arus pengenal dari *circuit breaker* harus disesuaikan dengan besarnya arus beban yang dilewatkan oleh kabel, dan harus lebih kecil dari arus ambang yang diijinkan lewat pada kabel.

d. Kapasitas pemutus

Kapasitas pemutus dari *circuit breaker* harus paling sedikit sama dengan arus hubung singkat *prospektif* yang mungkin akan terjadi pada suatu titik instalasi dimana *circuit breaker* tersebut dipasang.

e. Jumlah pole dari *circuit breaker*

Jumlah pole dari *circuit breaker* sangat tergantung kepadasistem pembumian dari sistem.

f. Kebutuhan akan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik.

g. Aturan-aturan dan standar proteksi yang berlaku seperti PUIL, SPLN, dan IEC 60947-2.

d. *Thermal Overload Relay (TOR)*

Thermal overload relay atau *relay* beban lebih selalu di pasang seri dengan beban yang berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Apabila terjadi kelebihan beban, hubung singkat, atau gangguan lainnya yang

mengakibatkan naiknya arus secara otomatis, *relay* ini akan bekerja memutuskan arus listrik dengan beban. sehingga keamanan beban terjaga.

Thermal overload relay memiliki kontak bantu No dan NC. Kontak bantu NC dipergunakan sebagai pengontrol operasin dari kontaktor penghubung suplai daya kekumparan motor. Apabila terjadi gangguan arus beban lebih pada saat motor beroperasi, maka kontak bantuNC akan membuka sehingga suplai daya akan terputus ke kontaktor dan akibatnya motor akan berhenti beroperasi.

Prinsip kerja dari *Thermal overload relay* adalah berdasarkan panas yang timbul karena adanya arus listrik yang mengalir melewati arus nominal motor. Energi panas tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh logam bimetal. Akibatnya kontak NC akan terbuka sehingga operasi motor diamankan oleh pengaman TOR berhenti bekerja. Adapun kerja TOR ini tergantung kepada gangguan arus beban lebih yang terjadi danlamanya gangguan berlangsung. pada TOR terdapat selektor untuk memilih batasan nilai arus yang diinginkan yang biasanya disesuaikan dengan beban yang akan dihubungkan.



Gambar 2.16 konstruksi *Thermal overload relay*

(Sumber:<https://hlhonline.wordpress.com/2015/03/24/telemecanique-tc-thermal-overload-relays/>)

e. ***Time Delay Relay (TDR)***

Time delay relay sering disebut juga *relay timer* atau *relay* penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi motor terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Peralatan kontrol ini dapat dikombinasikan dengan peralatan kontrol lain, contohnya dengan MC (*magnetic contactor*), TOR (*thermal overload relay*).

Fungsi dari peralatan kontrol ini adalah sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. *Timer* ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor atau untuk merubah sistem bintang ke segitiga dalam *delay* waktu tertentu. *Timer* dapat dibedakan dari cara kerjanya yaitu *timer* yang bekerja menggunakan induksi motor dan menggunakan rangkaian elektronik.

Timer yang bekerja dengan prinsip induksi motor akan bekerja bila motor mendapat tegangan AC sehingga memutar gigi mekanis dan menarik serta menutup kontak secara mekanis dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan *relay* yang menggunakan prinsip elektronik, terdiri dari rangkaian R dan C yang dihubungkan seri atau paralel. Bila tegangan sinyal telah mengisi penuh kapasitor, maka *relay* akan terhubung. Lamanya waktu tunda diatur berdasarkan besarnya pengisian kapasitor. Bagian input timer biasanya dinyatakan sebagai kumparan (*coil*) dan bagian outputnya sebagai kontak NO atau NC.

Kumparan pada *timer* akan bekerja selama mendapat sumber arus. Apabila telah mencapai batas waktu yang diinginkan maka secara otomatis timer akan mengunci dan membuan kontak NO menjadi NC dan NC menjadi NO.



Gambar 2.17 konstruksi *Time delay relay*

(Sumber: <https://suriptoinstalasi.wordpress.com/2012/07/30/time-delay-relay/>)

f. *Push Button Switch*

push button switch merupakan saklar tekan yang berfungsi untuk menghubungkan atau memisahkan bagian-bagian dari suatu instalasi listrik satu sama lain suatu sistem saklar tekan push button terdiri dari saklar tekan emergency. Push button switch memiliki kontak NC (normally close) dan NO (normally open), yang mana bentuk fisik jenis push button switch dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar:2.18 konstruksi Push button switch

(<https://electricdot.wordpress.com/2011/07/31/rangkaian-direct-on-line-dol/>)

prinsip kerja push button switch adalah apabila dalam keadaan normal tidak ditekan maka kontak tidak berubah, apabila ditekan maka kontak NC akan berfungsi sebagai stop (memberhentikan) dan kontak NO akan berfungsi sebagai start (menjalankan) biasanya digunakan pada sistem pengontrolan motor-motor induksi untuk menjalankan dan mematikan motor pada industri-industri.

g. Lampu Indikator

Lampu indikator berfungsi untuk memberi tanda bagi operator bahwa panel dalam keadaan kerja/bertegangan atau tidak. Warna merah sebagai tanda panel dalam keadaan kerja, maka harus hati-hati. Sedangkan warna hijau bahwa panel dalam keadaan ON arus mengalir kerangkaian beban listrik. lampu indikator ini juga berfungsi sebagai tanda tegangan kerja 3 phasa, dengan warna merah, kuning, dan hijau.



Gambar 2.19 konstruksi lampu indikator

(sumber: <http://hasemcreate.blogspot.co.id/2014/02/lampu-indikator.html>)

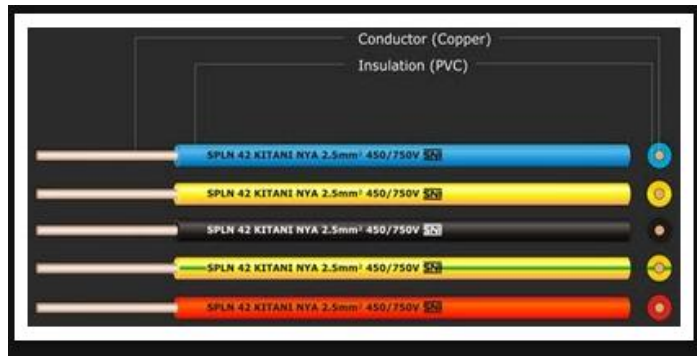
h. Penghantar Listrik

Penghantar merupakan suatu benda yang berbentuk logam atau non logam yang bersifat konduktor atau dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar dapat berupa kabel atau kawat

penghantar. Konduktor yang baik adalah yang memiliki tahanan jenis yang kecil. pada umumnya logam bersifat konduktif. emas, perak, tembaga, alumunium,zink, besi berturut turut memiliki tahanan jenis semakain besar. Jadi sebagai penghantar emas adalah sangat baik, tetapi karena sangat mahal harganya, maka secara ekonomis tembaga dan alumunium paling banyak digunakan.

kabel adalah penghantar logam yang dilindungi oleh isolasi. jika jumlah penghantar logam lebih satu maka keseluruhan kabel yang berisolasi dilengkapi lagi dengan selubung pelindung. contohnya kabel listrik yang dipakai dirumah. Bila kabel tersebut dikupas maka akan kelihatan sebuah selubung yang membungkus beberapa inti kabel yang terisolasi (2 atau 3 inti) dimana masing-masing inti memiliki warna isolasi yang berbeda.

Dalam instalasi industri, penghantar yang digunakan adalah kabel NYA, kabel NYA merupakan kabel berisolasi PVC dan berinti kawat tunggal. warna isolasinya ada beberapa macam yaitu merah, kuning, biru, dan hitam. Jenisnya adalah kabel udara (tidak untuk ditanam didalam tanah). Karena isolasinya hanya satu lapis, maka mudah luka karena gesekan, gigitan tikus atau gencetan. Dalam pemasangannya kabel jenis ini harus dimasukkan dalam suatu conduit kabel. Dibawah ini merupakan gambaran bentuk fisik darikabel NYA.



Gambar 2.20 konstruksi kabel NYA

(Sumber: <http://mumetlistrik.blogspot.co.id/2012/08/jenis-kabel-listrik-nya-nym-dan-nyy.html>)