

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Pada artikel berjudul Rancang Bangun Sistem Kontrol Kubikel Pada Panel Tegangan Menengah dengan Menggunakan Programmable Logic Controller (2023) oleh Rossi Peter Simanjuntak, Rahman Aulia, dan Susi Diriyanti N, dirancang sebuah sistem rancang bangun kontrol kubikel menggunakan PLC yang dimonitoring menggunakan HMI. Dalam penelitian tersebut, mereka hanya membangun kembali sistem yang sudah ada menjadi dikontrol menggunakan PLC. Sehingga pembaruan yang mereka lakukan hanya menambahkan PLC sebagai kontrol terhadap kubikel tegangan menengah.
2. Marcell Dhani Baramuli dalam skripsi berjudul Rancang Bangun Pengembangan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Udara Pada Kubikel 20 kV Berbasis IoT (2024), merancang sebuah perangkat tambahan dengan basis IoT. Hal ini bertujuan untuk menambah life time dari heater pada kubikel 20 kV. Dalam penelitian tersebut, perangkat tambahan berfungsi juga untuk memonitoring kondisi heater dan suhu udara dalam kubikel.
3. Muh. Ali Iskandar, Purwito, dan Alamsyah Achmad dalam artikel berjudul Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Udara Ambien Pada Ruang Cell Kubikel 20 kV Berbasis IoT (2025). Dalam penelitian ini, digunakan perangkat nodemcu ESP32 dan sensor DHT11 serta DHT22 sebagai perangkat monitoring suhu dan kelembapan pada kubikel 20 kV. Pembacaan sensor tersebut kemudian dikirim ke server untuk memonitoring sekaligus sebagai input untuk menyalakan kipas dan heater sesuai dengan setting kelembapan.

4. Rhema Pragas Jatmiko dalam penelitian skripsinya yang berjudul Implementasi Pemasangan Fitur Watchdog Micom OCR/GFR P142 Untuk Mengatasi Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) Gardu Induk Sei Rotan (2021), merancang fitur watchdog untuk memonitoring serta melakukan mitigasi untuk mencegah gangguan simpatetik trip pada penyulang 20 kV. Dalam penelitian ini, sistem menggunakan kontak tambahan (watchdog) untuk memberikan peringatan dalam bentuk lampu indikator dan buzzer alarm. Prinsip kerja dalam prototype ini ketika relay proteksi mengalami gangguan (off/unhealthy), kontak watchdog akan mengaktifkan auxiliary relay. Auxiliary relay kemudian akan menyalakan lampu indikator serta buzzer alarm untuk mengingatkan operator bahwa relay proteksi mengalami kondisi unhealthy.

Tabel 2. 1 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Hasil	Riset Gap
1.	“Rancang Bangun Sistem Kontrol Kubikel Pada Panel Tegangan Menengah dengan Menggunakan <i>Programmable Logic Controller</i> ”	Masalah pada penelitian ini adalah panel tegangan menengah yang belum dapat dimonitoring melalui sistem kontrol kubikel karena sistem kontrol yang tidak berfungsi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan harapan. Hasil ditunjukkan dalam bentuk tabel lampu yang menyala ketika sistem bekerja untuk mengaktifkan	Penelitian ini hanya menggunakan PLC sebagai pusat kontrol open-close PMT 20 kV yang ditampilkan dalam bentuk HMI.

No	Judul dan Tahun	Masalah	Hasil	Riset Gap
	(Rossi Peter Simanjunta k. 2023)		dan menonaktifkan kubikel.	
2.	“Rancang Bangun Pengembangan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Udara Pada Kubikel 20 kV Berbasis IoT” (Marcell Dhani Baramuli. 2024)	Penelitian ini didasarkan pada masalah heater kubikel yang selalu aktif dan dapat menyebabkan berkurangnya lifetime dari heater tersebut.	Suhu dalam kubikel dapat dikontrol dan dimonitoring melalui perangkat IoT. Ketika suhu disetting 35 derajat Celcius, heater akan mati secara otomatis saat melebihi set point tersebut dan akan menyala ketika suhu di bawah set point.	Penelitian ini hanya berfokus pada penanggulangan kerusakan heater pada kubikel 20kV. Prototype ini juga mengandalkan relay tambahan hanya untuk menghidupkan dan mematikan heater.
3.	“Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Udara	Penelitian ini bertujuan untuk memitigasi gangguan akibat kelembapan udara yang	Prototype bekerja dengan baik dalam memonitoring suhu dan kelembapan	Penelitian ini masih belum berdampak besar terhadap pengurangan korona yang

No	Judul dan Tahun	Masalah	Hasil	Riset Gap
	Ambien Pada Ruang Cell Kubikel 20 kV Berbasis IoT” (Muh. Ali Iskandar, dkk, 2025)	dapat menimbulkan korona pada kubikel 20 kV	dalam kubikel 20 kV. Dimana ketika suhu mencapai 30.2 derajat Celcius dengan kelembapan 74-84%, perangkat hanya menyalakan kipas. Dan ketika suhu 27.1 derajat Celcius dengan kelembapan 94%, perangkat menyalakan heater dan kipas.	dapat menimbulkan gangguan. Dan perangkat ini hanya dapat diimplementasi kan pada daerah dengan kelembapan tinggi.
4.	“Implementasi Pemasangan Fitur Watchdog Micom OCR/GFR P142 Untuk	Tujuan penelitian ini adalah untuk menanggulangi gangguan yang meluas akibat gangguan simpatetik trip	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa prototype ini dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Dimana	Penelitian ini berfokus pada mitigasi terhadap gangguan simpatetik trip.

No	Judul dan Tahun	Masalah	Hasil	Riset Gap
	Mengatasi Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) Gardu Induk Sei Rotan” (Rhema Pragas Jatmiko. 2021)	pada kubikel 20 kV.	prototype akan aktif apabila kondisi unhealthy pada relay proteksi terjadi. Sehingga menyalakan lampu indikator dan alarm.	

2.2. Landasan Teori

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) adalah bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari gardu induk menuju gardu distribusi atau langsung ke konsumen industri dan komersial. JTM biasanya beroperasi pada tegangan antara 12 kV hingga 20 kV, dengan konstruksi berupa saluran udara (SUTM) maupun kabel tanah (SKTM). Saluran udara tegangan menengah lebih banyak digunakan di Indonesia karena biaya konstruksinya lebih murah, meskipun memiliki keterbatasan dari sisi estetika dan keamanan. Sedangkan kabel tanah lebih aman dan estetik, namun membutuhkan biaya investasi yang lebih tinggi serta perawatan khusus.

Secara fungsional, JTM menjadi penghubung penting dalam sistem kelistrikan nasional karena berada di antara jaringan tegangan tinggi (transmisi) dan jaringan tegangan rendah (distribusi ke rumah tangga). JTM memastikan energi listrik dapat disalurkan dengan efisien, stabil, dan sesuai kebutuhan konsumen. Komponen utama JTM meliputi tiang beton atau besi, isolator, konduktor, serta perlengkapan proteksi seperti pemutus tenaga (PMT) dan kubikel. Dengan berkembangnya konsep smart grid, JTM kini juga dilengkapi sistem monitoring dan kontrol berbasis teknologi digital untuk meningkatkan keandalan, keamanan, dan efisiensi penyaluran listrik.

2.2.1 Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV

Pemutus tegangan 20 kV merupakan perangkat listrik yang dirancang khusus untuk menghentikan aliran listrik pada tegangan sebesar 20.000 volt. Komponen ini digunakan dalam jaringan distribusi listrik tegangan menengah hingga tinggi, seperti sistem distribusi perkotaan maupun industri. Dibandingkan dengan pemutus tegangan rendah, pemutus 20 kV memiliki kapasitas lebih besar serta fitur keamanan yang lebih canggih. Perangkat ini mampu menangani arus dan tegangan tinggi yang umum dijumpai pada sistem distribusi, serta dilengkapi dengan sistem kontrol modern untuk memantau dan mengatur aliran listrik. Selain itu, pemutus ini dapat bekerja otomatis untuk memutus aliran listrik ketika terjadi gangguan atau kondisi berbahaya, sehingga melindungi peralatan dan jaringan dari kerusakan serta memastikan keselamatan operasi sistem secara keseluruhan.

a. Macam-Macam Pengaman Pada Jaringan Distribusi

1. Over Current Relay (Relai Arus Lebih)

OCR bekerja apabila terjadi arus yang melebihi settingannya. Relay ini bekerja untuk melindungi peralatan listrik lainnya apabila terjadi arus lebih akibat:

- a. Adanya penambahan beban atau perkembangan beban.
- b. Adanya gangguan hubung singkat di Jaringan maupun Instalasi listrik



Gambar 2. 1 Over Current Relay

Sumber : dokumentasi pribadi

Relai arus lebih (Over Current Relay/OCR) merupakan salah satu perangkat proteksi yang digunakan secara luas dalam sistem tenaga listrik, baik sebagai proteksi utama maupun sebagai proteksi cadangan. Pada transformator tenaga, OCR umumnya berperan sebagai proteksi cadangan terhadap gangguan eksternal maupun sebagai cadangan bagi feeder keluar.

Pemasangan OCR dapat dilakukan pada sisi tegangan tinggi, sisi tegangan menengah, ataupun pada kedua sisi transformator secara bersamaan. Relai ini memiliki kemampuan untuk menginstruksikan pemutus tenaga (PMT) agar membuka pada sisi tempat relai dipasang, atau pada kedua sisi transformator sesuai kebutuhan. Baik tipe definite time maupun inverse time dapat diaplikasikan untuk memberikan proteksi terhadap kondisi arus lebih pada transformator tenaga. Sebagai pengaman Transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk :

- a. Mencegah kerusakan Transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- b. Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- c. Hanya bekerja bila pengaman utama Transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

2. Ground Fault Relay (Relay Gangguan Tanah)

Ground Fault Relay (GFR) merupakan perangkat proteksi yang berperan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah, khususnya pada jaringan 20 kV. Fungsi utama dari GFR adalah mendeteksi adanya arus gangguan ke tanah yang timbul akibat ketidakseimbangan arus dalam sistem, misalnya karena kerusakan isolasi, kontak penghantar dengan objek eksternal, atau kondisi lingkungan yang menyebabkan kebocoran arus. Apabila arus gangguan yang terdeteksi melebihi nilai ambang yang telah ditentukan, GFR akan mengirimkan sinyal perintah kepada pemutus tenaga (circuit breaker) untuk membuka, sehingga aliran listrik dapat segera dihentikan. Mekanisme ini tidak hanya melindungi peralatan jaringan dari kerusakan, tetapi juga menjaga keselamatan sistem serta meningkatkan keandalan operasi distribusi listrik.

Dalam penerapannya, GFR umumnya digunakan bersama dengan Over Current Relay (OCR) agar sistem proteksi bekerja secara selektif. OCR berfungsi melindungi sistem dari arus lebih akibat hubung singkat antar fasa, sedangkan GFR berfokus pada gangguan fasa ke tanah. Dengan pengaturan koordinasi yang tepat, kombinasi kedua perangkat proteksi ini

mampu memberikan perlindungan menyeluruh terhadap transformator, kabel, maupun komponen jaringan distribusi 20 kV, sehingga sistem tetap aman dan andal.

3. Jenis Relai Berdasarkan Karakteristik Waktu

a. Relai Arus Lebih/Gangguan Tanah Sesaat (Instantaneous)

Karakteristik relay ini bekerja tanpa adanya penundaan waktu. Jangka waktu mulai relay pick up sampai kerja relay sangat singkat (20 ms – 50 ms). Relay bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana relay terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem. Relay ini akan memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui penyetelannya.

b. Relai Arus Lebih/Gangguan Tanah Definite (Definite Time)

Adalah relai dimana waktu tundanya tetap, Karakteristik relay ini bekerja dengan settingan waktu tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jangka waktu mulai relay pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan harga tertentu tidak tergantung besarnya arus. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan relai akan bekerja dengan waktu yang tetap. Jangka waktu mulai relay pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan harga tertentu tidak tergantung besarnya arus.

Keuntungan dari Definite Time Relay yaitu:

- 1) Koordinasinya mudah
- 2) Waktu kerjanya tidak tergantung oleh perubahan kapasitas pembangkit

Kelemahannya adalah:

- 1) Terjadi komulasi waktu pada relay di hulu, untuk sistem besar, akumulasi waktu tidak diinginkan
- 2) Bila diterapkan pada pengaman gangguan tanah jaringan distribusi radial, bisa menimbulkan masalah sympathetic trip.

c. Relai Arus Lebih/Gangguan Tanah Inverse (Inverse Time)

Adalah relai dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relai. Jangka waktu mulai relay pick up sampai kerja relay berbanding terbalik dengan besarnya arus yang mengerjakannya.

Pada relai jenis ini karakteristik kecuraman waktu-arus dikelompokkan menjadi :

1) Normal Inverse

Banyak digunakan pada peralatan industri atau peralatan-peralatan pada umumnya.

2) Very Inverse

Memberikan grafik inverse yang lebih curam daripada normal inverse. Digunakan saat nilai arus gangguan bergantung pada lokasi gangguan tersebut.

3) Long Inverse

Fungsi utama dari long inverse relai adalah cadangan (backup) dari proteksi gangguan tanah.

4) Extremely Inverse

Sebuah extremely inverse time overcurrent relai memberikan time current characteristic lebih dibandingkan very inverse dan normal inverse relai. Ketika normal inverse dan very inverse relai gagal bekerja, extremely inverse relai digunakan. Sebuah extremely inverse relai sangat cocok untuk proteksi mesin-mesin melawan overheating.

b. Gangguan Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah



Gambar 2. 2 Gangguan Sistem Distribusi Akibat Pohon Tumbang

Sumber : acehportal.com

Gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai suatu kondisi tidak normal yang menyebabkan terjadinya aliran arus tidak seimbang pada sistem tiga fasa. Secara umum, gangguan juga dapat dipahami sebagai suatu cacat yang menghambat aliran arus normal menuju beban. Pada jaringan distribusi 20 kV, gangguan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu gangguan yang bersumber dari luar sistem dan gangguan yang berasal dari dalam sistem. Gangguan eksternal biasanya disebabkan oleh faktor lingkungan seperti kontak daun atau pohon dengan penghantar, sambaran petir, aktivitas manusia maupun hewan, serta kondisi cuaca. Sementara itu, gangguan internal dapat berupa kegagalan fungsi peralatan jaringan, kerusakan komponen jaringan, kerusakan pada pemutus beban, maupun kesalahan pada perangkat

pendeteksi. Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi (Hutauruk, 1987 : 4) adalah :

a. Gangguan Yang Bersifat Temporer

Gangguan temporer dalam sistem tenaga listrik merupakan kondisi tidak normal yang hanya berlangsung dalam waktu singkat dan dapat kembali normal setelah beberapa saat. Jenis gangguan ini biasanya hilang secara alami atau dapat diatasi dengan cara memutus sementara bagian jaringan yang terganggu dari sumber tegangannya, kemudian diikuti dengan penyambungan kembali peralatan hubung. Walaupun sifatnya sementara, gangguan yang terjadi berulang kali dapat menimbulkan dampak serius, seperti kerusakan pada peralatan jaringan, yang pada akhirnya dapat berkembang menjadi gangguan permanen.

Contoh gangguan temporer yang umum dijumpai pada jaringan distribusi 20 kV antara lain:

- Kontak fisik dengan vegetasi, misalnya pohon atau ranting yang tumbuh terlalu dekat dengan penghantar.
- Interferensi dari hewan, seperti burung, kelelawar, ular, maupun layangan yang menyentuh jaringan.
- Faktor lingkungan lainnya, seperti kondisi cuaca yang memicu kontak sesaat dengan penghantar.

Gangguan-gangguan tersebut biasanya hilang dengan sendirinya setelah objek penyebab tidak lagi bersentuhan dengan jaringan, dan sistem dapat kembali beroperasi normal setelah peralatan hubung ditutup kembali. Namun, apabila gangguan temporer terjadi secara berulang, hal ini berpotensi mempercepat degradasi komponen, menurunkan keandalan sistem, dan akhirnya menimbulkan gangguan permanen yang lebih sulit ditangani.

b. Gangguan Yang Bersifat Permanen

Gangguan permanen dalam sistem tenaga listrik merupakan kondisi abnormal yang tidak dapat hilang dengan sendirinya sebelum faktor penyebabnya diatasi. Jenis

gangguan ini biasanya timbul akibat kerusakan peralatan atau adanya objek yang secara terus-menerus mengganggu jaringan. Oleh karena itu, untuk mengembalikan sistem ke kondisi normal diperlukan tindakan perbaikan teknis atau penghilangan sumber gangguan tersebut.

Secara operasional, gangguan permanen ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga (PMT) sebagai respon proteksi. Untuk mengatasi kondisi ini, operator harus melakukan penyambungan kembali tenaga secara manual setelah penyebab gangguan diidentifikasi dan diperbaiki.

Beberapa contoh gangguan permanen yang umum terjadi pada jaringan distribusi 20 kV antara lain:

- Kawat penghantar putus, yang mengakibatkan terputusnya kontinuitas aliran listrik.
- Gangguan hubung singkat, baik antar fasa maupun antara fasa dengan tanah.
- Kontak permanen dengan objek eksternal, seperti dahan pohon yang menimpa kawat fasa pada saluran udara.

Gangguan permanen memiliki dampak yang lebih serius dibandingkan gangguan temporer, karena tidak dapat dipulihkan tanpa intervensi langsung. Oleh sebab itu, penanganan cepat dan tepat sangat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem serta mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan jaringan.

c. Gangguan Asimetris, merupakan gangguan yang melibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :

- 1) Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
- 2) Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
- 3) Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

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

- 1) Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

2) Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

2.2.2 Komponen pada PMT 20 kV

Kubikel 20kV adalah sebuah perangkat yang digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan tinggi. Komponen-komponen yang umumnya terdapat dalam kubikel 20 kV antara lain:

1. Pemutus tegangan

Pemutus tegangan atau circuit breaker merupakan komponen vital dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah, khususnya pada jaringan 20 kV. Perangkat ini berfungsi sebagai pengaman utama yang mampu memutuskan aliran arus listrik ketika terjadi kondisi abnormal, seperti arus lebih, hubung singkat, maupun gangguan sistem lainnya. Dengan adanya pemutus tegangan, jaringan distribusi dapat dipisahkan secara cepat dan aman, sehingga kerusakan pada peralatan dapat diminimalisasi dan kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga. Dalam praktiknya, pemutus tegangan bekerja dengan membuka kontak penghantar listrik secara otomatis setelah menerima sinyal dari sistem proteksi, biasanya berupa relay. Proses pemutusan ini harus dilakukan dengan cepat dan efektif, karena semakin lama arus gangguan dibiarkan mengalir, semakin besar potensi kerusakan yang ditimbulkan terhadap peralatan maupun jaringan. Oleh sebab itu, pemutus tegangan pada sistem 20 kV dirancang dengan kemampuan pemutusan yang tinggi, kecepatan operasi yang andal, serta sistem isolasi yang aman untuk mencegah terjadinya loncatan listrik atau arc yang berbahaya. Dalam perkembangan teknologi modern, pemutus tegangan tidak hanya berfungsi sebagai perangkat proteksi, tetapi juga diintegrasikan dengan sistem kendali berbasis Programmable Logic Controller (PLC) maupun SCADA, sehingga dapat dioperasikan baik secara lokal maupun jarak jauh. Integrasi ini memberikan fleksibilitas operasional yang lebih besar, sekaligus mendukung konsep jaringan listrik cerdas (smart grid) yang menekankan efisiensi, keandalan, dan adaptabilitas sistem distribusi tenaga listrik. Dengan demikian, keberadaan pemutus tegangan pada sistem 20 kV tidak hanya menjadi elemen teknis semata, tetapi juga

mencerminkan kemajuan keilmuan dalam bidang proteksi dan kontrol distribusi tenaga listrik.



Gambar 2. 3 Pemutus Tegangan

Sumber : honle.com

2. Penyulang

Penyulang atau feeder pada sistem distribusi tenaga listrik 20 kV merupakan saluran utama yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi maupun langsung ke konsumen dalam skala menengah. Keberadaan penyulang sangat krusial karena menentukan keandalan dan kontinuitas pasokan listrik pada suatu wilayah. Secara konstruksi, penyulang dapat berupa jaringan kabel udara (overhead line) maupun kabel tanah (underground cable), dengan kapasitas yang disesuaikan terhadap beban listrik yang dilayani. Dalam sistem distribusi, penyulang tidak hanya berperan sebagai media penyaluran energi, tetapi juga sebagai titik pengendalian dan proteksi. Hal ini diwujudkan melalui pemasangan peralatan seperti pemutus tegangan, recloser, dan relay

proteksi yang bekerja untuk mendeteksi serta mengisolasi gangguan. Dengan adanya sistem proteksi tersebut, gangguan yang terjadi pada satu penyulang dapat segera diputus sehingga tidak merambat ke jaringan lain, menjaga stabilitas sistem secara keseluruhan. Selain itu, penyulang pada jaringan 20 kV sering dirancang dalam konfigurasi radial maupun loop. Konfigurasi radial lebih sederhana dan ekonomis, namun kurang fleksibel dalam menghadapi gangguan, sedangkan konfigurasi loop memberikan keandalan lebih tinggi karena memungkinkan aliran listrik tetap berjalan melalui jalur alternatif. Dengan demikian, penyulang pada sistem 20 kV tidak hanya berfungsi sebagai saluran distribusi energi, tetapi juga sebagai bagian integral dari sistem proteksi yang menjamin keandalan, efisiensi, serta keamanan jaringan tenaga listrik

3. Trafo arus

Trafo arus atau Current Transformer (CT) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik 20 kV yang berfungsi untuk menurunkan besaran arus listrik dari nilai tinggi menjadi nilai yang lebih kecil dan aman untuk keperluan pengukuran maupun proteksi. Prinsip kerja trafo arus adalah mengalihkan arus primer yang mengalir pada konduktor utama menjadi arus sekunder yang proporsional, biasanya dalam skala standar seperti 5 A atau 1 A. Dengan cara ini, peralatan ukur dan relay proteksi dapat bekerja secara akurat tanpa harus berhadapan langsung dengan arus besar yang berbahaya. Dalam sistem distribusi 20 kV, trafo arus dipasang pada setiap penyulang maupun peralatan proteksi untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti arus lebih atau hubung singkat. Data arus yang diperoleh dari CT kemudian digunakan oleh relay proteksi untuk menentukan apakah terjadi gangguan dan memerintahkan pemutus tegangan untuk bekerja. Selain itu, trafo arus juga berperan dalam sistem metering, yaitu pencatatan konsumsi energi listrik pelanggan, sehingga keakuratan dan keandalan CT menjadi faktor yang sangat menentukan. Secara konstruksi, trafo arus dirancang dengan isolasi yang kuat agar mampu beroperasi pada tegangan menengah, serta memiliki karakteristik linieritas yang baik agar hasil pengukuran tetap presisi meskipun arus yang mengalir bervariasi. Dengan demikian, trafo arus pada sistem 20 kV tidak hanya berfungsi sebagai perangkat

bantu pengukuran, tetapi juga sebagai elemen proteksi yang menjamin keselamatan peralatan, keandalan jaringan, dan efisiensi operasional sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2. 4 Current Transformer (Trafo Arus)

Sumber : dokumentasi pribadi

4. Peralatan pendukung lainnya

Selain komponen utama di atas, kubikel 20 kV juga dapat dilengkapi dengan peralatan pendukung lainnya seperti relai proteksi, panel kontrol, dan perangkat komunikasi untuk memantau dan mengendalikan operasi sistem secara efektif.

Setiap kubikel 20 kV dapat memiliki konfigurasi yang berbeda tergantung pada kebutuhan spesifik dari sistem distribusi listrik yang dioperasikan



Gambar 2. 5 Kubikel 20 KV Beserta Komponennya
Sumber : dokumentasi pribadi

2.2.3 *Switch Remote/Local*

Suatu saklar yang berfungsi untuk menentukan kondisi PMT apakah PMT bisa dioperasikan secara lokal dari panel atau bisa diremote secara SCADA. Switch ini sangat memudahkan personil di lapangan ketika pemeliharaan untuk alasan *safety condition*. Switch

bisa diposisikan secara remote ataupun lokal, switch secara remote bisa digunakan untuk kontrol jarak jauh sehingga memudahkan dispatcher untuk mengontrol open/close PMT penyulang yang ada di gardu induk. Pada posisi remote, PMT tidak dapat dikontrol secara local atau melalui switch open/close di panel PMT. Sedangkan jika selector switch di arahkan ke lokal, maka dispatcher tidak bisa melakukan kontrol PMT open/close, penyulang hanya dapat dikontrol melalui switch open/close yang ada di penyulang.



Gambar 2. 6 Selector Switch Remote/Local

Sumber : dokumentasi pribadi

Switch ini pada dasarnya digunakan untuk mempermudah pergantian mode agar tidak terjadi miskomunikasi di lapangan. Selain itu switch ini juga menjadi tambahan keamanan pada PMT apabila melakukan maintenance atau pemeliharaan. Dengan adanya switch ini keamanan dan keandalan peralatan dapat dijaga dengan baik sejalan dengan SOP yang berlaku.

Pada posisi remote, PMT dapat dikontrol dari jarak jauh. Sehingga memudahkan dispatcher dalam melakukan kontrol PMT. Misal terjadi padam akibat trip, dispatcher dapat melakukan close switch dari jarak aman. Hal ini untuk mengurangi dampak akibat dari kecelakaan kerja. Walaupun begitu, kontrol remote sendiri terkadang mengalami kegagalan. Maka di sanalah switch digunakan untuk mengubah posisi remote menjadi local.

Posisi local sendiri juga masih memiliki keunggulan karena dapat memonitor PMT secara langsung. Apabila terjadi kegagalan pada sistem remote, PMT dapat diganti ke posisi local. Tetapi, posisi local dapat berakibat fatal apabila operator tidak menjalankan SOP dengan baik atau bila terjadi kegagalan sistem proteksi.

2.2.4 Breakdown PMT 20 kV

Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan PMT mengalami breakdown, antara lain:

1. Kegagalan Mekanis

Kegagalan mekanis merupakan salah satu penyebab paling umum dari kerusakan pemutus tegangan. Komponen internal seperti pegas, tuas penggerak, engsel, dan mekanisme pemicu bekerja secara berulang setiap kali terjadi operasi buka-tutup. Seiring waktu, komponen tersebut dapat mengalami keausan, retakan, atau deformasi akibat tekanan mekanis yang berlebihan. Faktor lingkungan seperti getaran dari peralatan sekitar atau kualitas material yang menurun juga dapat mempercepat kerusakan. Apabila kegagalan mekanis terjadi, pemutus tegangan tidak mampu beroperasi dengan baik, sehingga fungsi proteksi sistem distribusi listrik menjadi terganggu.

2. Kegagalan Listrik

Kegagalan listrik biasanya disebabkan oleh arcing atau percikan listrik yang berlebihan pada kontak pemutus. Ketika arus gangguan mengalir, busur listrik dapat terbentuk di antara kontak yang sedang membuka, dan jika tidak segera dipadamkan, akan merusak permukaan kontak serta meningkatkan resistansi. Selain itu, kelebihan beban atau korsleting arus listrik dapat menimbulkan panas berlebih yang merusak

isolasi maupun konduktor internal. Kondisi ini berpotensi menyebabkan pemutus tegangan gagal memutus arus dengan cepat, sehingga jaringan distribusi berisiko mengalami kerusakan lebih luas.

3. Kegagalan Elektronik

Pada pemutus tegangan modern, komponen elektronik seperti sensor, modul kontrol, dan mikroprosesor digunakan untuk mendukung fungsi monitoring dan pengendalian. Kegagalan pada bagian elektronik dapat terjadi akibat gangguan tegangan, lonjakan arus, atau kerusakan komponen semikonduktor. Jika sistem elektronik tidak bekerja dengan baik, perintah buka-tutup bisa salah atau tidak responsif, sehingga mengurangi keandalan operasi. Meskipun komponen elektronik meningkatkan kecanggihan pemutus tegangan, kerentanannya terhadap gangguan listrik menjadikannya salah satu titik kritis yang perlu diperhatikan.

4. Kondisi Lingkungan Eksternal

Lingkungan eksternal memiliki pengaruh besar terhadap umur pakai pemutus tegangan. Kelembaban tinggi dapat menyebabkan kondensasi pada komponen internal, yang berisiko menimbulkan korosi atau penurunan kualitas isolasi. Suhu ekstrem, baik terlalu panas maupun terlalu dingin, dapat mengganggu elastisitas material dan mempercepat degradasi. Paparan debu, polusi, atau bahan kimia agresif juga dapat merusak permukaan logam dan isolasi. Oleh karena itu, pemutus tegangan harus ditempatkan dalam kondisi lingkungan yang terkendali agar tetap berfungsi optimal.

5. Pemakaian yang Berlebihan

Pemakaian berlebihan terjadi ketika pemutus tegangan dioperasikan di luar batas desainnya, misalnya terlalu sering melakukan pemutusan arus gangguan atau menanggung beban yang melebihi kapasitas nominal. Kondisi ini menyebabkan komponen internal bekerja lebih keras dari yang seharusnya, sehingga mempercepat keausan dan menurunkan performa. Jika dibiarkan, pemakaian berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada kontak, isolasi, maupun mekanisme penggerak.

6. Kurangnya Pemeliharaan

Pemeliharaan rutin merupakan faktor penting dalam menjaga keandalan pemutus tegangan. Tanpa inspeksi berkala, kerusakan kecil seperti penumpukan kotoran, keausan kontak, atau degradasi isolasi tidak akan terdeteksi. Akumulasi masalah ini dapat berkembang menjadi kerusakan besar yang menyebabkan pemutus tegangan gagal berfungsi saat dibutuhkan. Oleh karena itu, program pemeliharaan yang sistematis sangat diperlukan untuk memperpanjang umur pakai dan memastikan kesiapan perangkat dalam menghadapi gangguan.

7. Kegagalan Operasi

Kesalahan manusia dalam pengoperasian juga dapat menjadi penyebab breakdown. Misalnya, penggunaan yang tidak sesuai prosedur, pelanggaran terhadap batas beban, atau pengabaian terhadap karakteristik teknis pemutus tegangan. Kesalahan operasi dapat menimbulkan kondisi abnormal yang mempercepat kerusakan komponen. Oleh karena itu, operator harus memiliki pengetahuan teknis yang memadai dan mengikuti standar operasional yang berlaku agar pemutus tegangan dapat berfungsi sesuai desain.

2.2.5 Programmable Logic Controller (PLC)

a. Teori dasar

Programmable Logic Controller (PLC) adalah suatu peralatan yang berbasis mikroprosesor yang berisi fungsi kontrol serta memiliki memori yang dapat diprogram, menyimpan instruksi-instruksi untuk mengontrol berbagai jenis proses melalui modul analog atau digital input/output, menjalankan fungsi termasuk kontrol on/off, pengaturan waktu, perhitungan, pengurutan, aritmatika dan penanganan data (Rossi Peter Simanjuntak: 2023). PLC banyak dimanfaatkan dalam sistem otomatisasi di bidang industri. Bahkan menjadi standar industri yang berjalan secara otomatis. Hal ini karena kebutuhan industri yang menuntut kualitas dan kuantitas pada produknya, membuat PLC yang mudah diaplikasikan dan mudah untuk dimonitor menjadi perangkat andalan. Selain itu PLC dipilih karena harganya yang murah, sistem yang stabil, fleksibel, dan mudah untuk digunakan.

PLC sangat mudah untuk diprogram karena menggunakan sistem ladder diagram. Selain itu, dalam pemrogramannya PLC memiliki relay virtual yang menjadikan sistem dapat bekerja dengan relay yang minim. Sehingga project dapat dibuat dengan ringkas bahkan tanpa relay tambahan. PLC memiliki input dan output yang beragam sesuai dengan tipe dan merek.



Gambar 2. 7 PLC

Sumber : indiamart.com

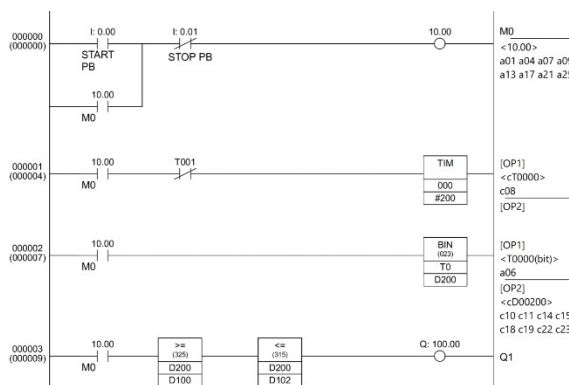
Dalam proses kerjanya, PLC bekerja dalam tiga tahap utama, yaitu: 1. Membaca inputan; 2. Eksekusi program; dan, 3. Menghasilkan output. Pada tahap pertama, PLC akan membaca inputan yang dimasukkan melalui pin input dan akan diproses lebih lanjut oleh mikropesesor. Input yang diberikan biasanya dalam bentuk analog ataupun digital sesuai dengan perangkat atau program yang dijalankan. Inputan dapat berupa sensor atau trigger

tombol maupun relay. Di tahap kedua, PLC akan mengeksekusi program sesuai dengan data input yang masuk. Data akan diproses mikroprosesor untuk menentukan hasil output sesuai dengan program yang dijalankan. Dan pada tahap ketiga, PLC akan menghasilkan output sesuai dari perintah yang sudah dieksekusi sebelumnya. Output dari PLC biasanya terdiri dari 2 kondisi, yaitu NO atau NC.

b. Bahasa program

Umumnya PLC diprogram menggunakan ladder diagram. Ladder diagram digunakan karena memiliki struktur yang mudah dipahami karena hanya berupa diagram garis kontrol relay. Ladder diagram pada PLC memiliki banyak tools yang dapat digunakan, seperti timer, counter, relay, dan lain-lain. PLC juga dapat diprogram menggunakan metode yang lain seperti diagram blok, teks terstruktur, dan daftar instruksi.

1. Ladder diagram



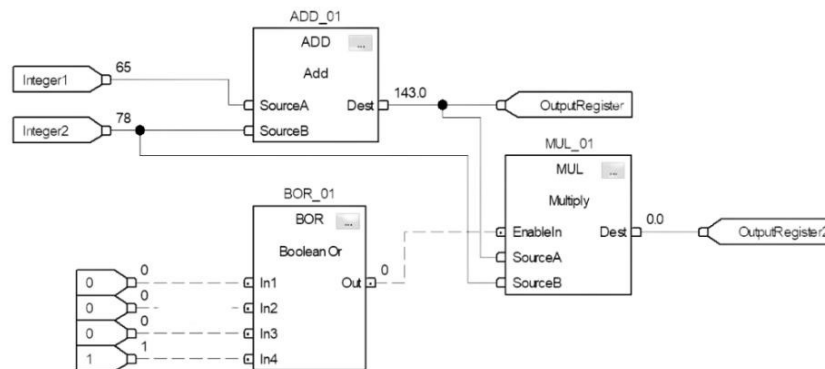
Gambar 2. 8 Gambar Ladder Diagram

Sumber : elektrokindo.com

Bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan dalam Programmable Logic Controller (PLC) adalah Ladder Logic Diagram. Popularitas bahasa ini terutama disebabkan oleh kemiripannya dengan Relay Logic Diagram, yang sebelumnya telah lama digunakan dalam sistem kontrol berbasis relay. Ketika PLC pertama kali diperkenalkan, para perancang sistem memanfaatkan pengetahuan yang telah mereka miliki mengenai sistem kontrol relay untuk mengadaptasi dan memprogram PLC. Selain itu, kecenderungan para pemrogram PLC untuk mendefinisikan aksi dalam

bentuk representasi kontak juga turut memperkuat penggunaan Ladder Logic Diagram, mengingat pendekatan tersebut telah menjadi metode yang umum dalam sistem kontrol sebelum hadirnya teknologi PLC.

2. Function Block Diagram



Gambar 2. 9 Function Block Diagram

Sumber : electgo.id

Function Block Diagram (FBD) merupakan salah satu bahasa pemrograman grafis yang digunakan dalam Programmable Logic Controller (PLC) dan diakui secara resmi dalam standar IEC 61131-3. Bahasa ini merepresentasikan fungsi-fungsi kontrol dalam bentuk blok yang saling terhubung melalui garis penghubung, di mana setiap blok memiliki input dan output yang dapat dikombinasikan untuk membentuk sistem kontrol yang kompleks. Karakteristik utama FBD adalah kemudahan penggunaannya karena pemrogram dapat menyusun program dengan metode grafis yang intuitif, menyerupai diagram alir logika yang umum digunakan dalam perancangan sistem industri. Selain itu, FBD mendukung integrasi berbagai elemen kontrol, mulai dari logika dasar, timers, counters, hingga pengendali PID, sehingga lebih efisien dalam menangani proses yang membutuhkan kombinasi logika dan pengendalian kontinu. Dibandingkan dengan Ladder Logic Diagram, FBD lebih sesuai untuk aplikasi kontrol yang kompleks, seperti batch control sesuai standar ISA-88, integrasi dengan sistem

SCADA, serta pengendalian proses industri modern. Dengan sifatnya yang modular dan grafis, FBD tidak hanya mempermudah proses pemrograman, tetapi juga meningkatkan keterbacaan, dokumentasi, dan komunikasi antarinsinyur dalam pengembangan sistem otomatisasi.

3. Structured Text

```
1  preset_temp:=12;           //Immediate Expression
2  pushbutton:=1;            //Immediate Expression
3  new_preset_temp:=preset_temp; //Tag Expression
4  timer_value:=ton1.ACC;     //Tag Expression
5  timer_done:=ton1.DN;       //Tag Expression
6  //timer operation
7  TONR_01.PRE := 500;
8  TONR_01.Reset := Reset;
9  TONR_01.TimerEnable := input3;
10 input3:=1;
11 if TONR_01.ACC >= 500 & TONR_01.DN then //A conditional statement
12   input3:=0;
13 end_if;
14 TONR(TONR_01); //Function Expression
15 timer_state := TONR_01.DN;
16 total:=add1+12+13+add2; //Operators Expression
```

Gambar 2. 10 Structured Text

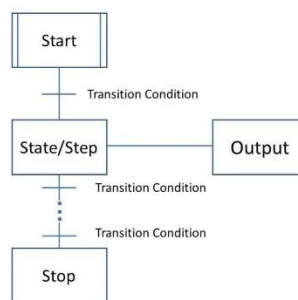
Sumber : electgo.id

Structured Text (ST) adalah salah satu bahasa pemrograman yang diakui dalam standar IEC 61131-3 untuk Programmable Logic Controller (PLC). Berbeda dengan bahasa grafis seperti Ladder Logic Diagram atau Function Block Diagram, ST menggunakan pendekatan berbasis teks yang menyerupai bahasa pemrograman tingkat tinggi, seperti Pascal, C, atau Java. Bahasa ini dirancang untuk menangani operasi yang kompleks, termasuk perhitungan matematis, pengolahan data, pengambilan keputusan, serta tugas-tugas berulang yang sulit direpresentasikan secara efisien dalam diagram grafis. Dalam praktiknya, ST memungkinkan pemrogram menuliskan instruksi dalam bentuk pernyataan logis dan prosedural yang lebih ringkas dibandingkan Ladder Logic. Hal ini menjadikan ST sangat efektif untuk sistem kontrol yang melibatkan banyak sensor, aktuator, dan algoritma pengendalian yang membutuhkan kejelasan serta efisiensi kode. Misalnya, pada lini produksi dengan urutan operasi yang kompleks, ST dapat digunakan untuk memprogram logika pengendalian yang memeriksa kondisi sensor,

mengatur motor, serta melakukan perhitungan siklus atau kecepatan produksi secara sistematis.

Keunggulan utama ST adalah keterbacaan dan skalabilitasnya dalam menangani program besar. Bahasa ini memudahkan dokumentasi, pemeliharaan, serta pengembangan sistem kontrol yang membutuhkan integrasi dengan teknologi modern, seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) atau sistem otomasi berbasis komputer. Dengan sifatnya yang tekstual, ST juga lebih familiar bagi insinyur yang memiliki latar belakang pemrograman komputer, sehingga mempercepat proses adaptasi dan pengembangan aplikasi kontrol industri.

4. Sequential Function Chart



Gambar 2. 11 Sequential Function Chart

Sumber : electgo.id

Sequential Function Chart (SFC) merupakan salah satu bahasa pemrograman grafis yang termasuk dalam standar IEC 61131-3 untuk Programmable Logic Controller (PLC). Bahasa ini digunakan untuk menggambarkan proses kontrol yang berlangsung secara berurutan dengan membagi sistem ke dalam serangkaian langkah (steps) dan transisi (transitions). Setiap langkah merepresentasikan kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu proses, sedangkan transisi menunjukkan persyaratan yang harus dipenuhi agar sistem dapat berpindah dari satu langkah ke langkah berikutnya. Dengan pendekatan tersebut, SFC memberikan kemudahan bagi pemrogram dalam merancang,

memahami, serta memelihara sistem kontrol yang kompleks, karena alur operasi divisualisasikan secara sistematis menyerupai flowchart. Keunggulan utama SFC terletak pada kemampuannya untuk menyederhanakan proses besar menjadi bagian-bagian kecil yang lebih terstruktur, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi industri yang melibatkan tahapan operasi berurutan, seperti manufaktur, pengendalian batch, maupun sistem otomasi dengan kondisi multi-state. Selain itu, sifat grafis SFC meningkatkan transparansi, keterbacaan, dan prediktabilitas, sehingga mempermudah analisis, dokumentasi, serta proses troubleshooting dalam pengembangan sistem kontrol berbasis PLC.

5. Instruction List

```

1. LD      "Start"      ;bit processor
2. O       "Flag"
3. A       "Stop"
4. A       "BLK"
5. AN      "Error"
5. =       "Flag"
6. =       F_b01        ;F_b to F_b01
7. Read F_b01          ;F_b01 to F_b
8. L       "Time1"     ;byte processor
9. SD      "Timer1"
10. LD     "Timer1"    ;bit processor
11. =      "Start_Up"
12. L      "SP_cur"    ;byte processor
13. L      "SP_nom"
14. >=I
15. WriteF_b          ;F_b to F_b
16. LD     "Start_Up" ;bit processor
17. A      F_b         ;F_b to F_b
18. =      "Out"
19. LD     "Start_Up"
20. =      F_b02       ;F_b to F_b02
21. Read F_b02        ;F_b02 to F_b
22. L      "Time2"    ;byte processor
23. SD     "Timer2"
24. TH     "Timer2"   ;bit processor
25. R      "Flag"
26. S      "Error"
27. A      "Stop"
28. R      "Error"

```

Gambar 2. 12 Instruction List

Sumber : electgo.id

Instruction List (IL) adalah salah satu bahasa pemrograman yang termasuk dalam standar IEC 61131-3 dan pernah menjadi bahasa yang paling mendasar dalam pemrograman Programmable Logic Controller (PLC). IL menggunakan serangkaian instruksi sederhana yang ditulis dalam bentuk teks mirip dengan bahasa rakitan

(assembly language), sehingga setiap perintah dieksekusi secara berurutan oleh pengendali logika. Pendekatan ini menjadikan IL sangat efisien dalam hal penggunaan memori dan kecepatan pemrosesan, meskipun tingkat keterbacaan dan kemudahan pemeliharannya lebih rendah dibandingkan bahasa grafis seperti Ladder Logic Diagram atau Function Block Diagram.

Pada masa awal perkembangan PLC, IL banyak digunakan karena kesederhanaannya dan kemiripannya dengan bahasa mnemonik yang sudah dikenal oleh teknisi. Bahkan, sebagian besar bahasa pemrograman PLC lain dapat dikompilasi atau diterjemahkan ke dalam bentuk IL, sehingga bahasa ini berfungsi sebagai representasi dasar dari logika kontrol. Namun, seiring dengan berkembangnya kebutuhan industri dan meningkatnya kompleksitas sistem otomasi, IL mulai ditinggalkan dan akhirnya dinyatakan usang (deprecated) dalam versi terbaru standar IEC 61131-3. Meskipun demikian, IL masih dijumpai pada sistem lama (legacy systems) dan tetap relevan bagi insinyur yang melakukan pemeliharaan atau modernisasi perangkat PLC generasi awal. Dengan karakteristiknya yang sederhana, IL memiliki keunggulan dalam efisiensi eksekusi, tetapi kelemahannya terletak pada keterbatasan dalam dokumentasi, keterbacaan, serta kesulitan dalam troubleshooting. Oleh karena itu, IL kini lebih banyak dipandang sebagai bagian dari sejarah perkembangan bahasa pemrograman PLC, sekaligus sebagai dasar pemahaman terhadap logika kontrol tingkat rendah yang masih berguna dalam konteks tertentu.

2.2.6 *Schneider Zelio Smart Relay*

Produk ini merupakan bagian dari rangkaian Zelio Logic, tawaran relay pintar untuk sistem otomasi sederhana dari 10 hingga 40 I/O. Relay pintar yang kompak ini memberikan alternatif nyata bagi solusi berbasis logika kabel atau kartu khusus. Dilengkapi dengan tampilan dan jam. Memeriksa memori program pada setiap daya hidup dan 0 hingga 240 dengan nomor pemrograman tangga atau garis skema kontrol. Mudah digunakan, Zelio Logic menyediakan alternatif nyata bagi solusi berbasis logika kabel atau kartu khusus. Ini menawarkan 8 output relay dengan kontak *normally opened* dan 12 input diskret. Ini

memiliki tegangan pasokan tercatat dari 100V hingga 240V AC, arus pasokan maksimum sebesar 50mA pada 240V (tanpa perluasan), 100mA pada 100V (tanpa perluasan) dan konsumsi daya sebesar 11VA tanpa perluasan. Ini adalah produk dengan rating IP20 dan IP40. Beratnya 0,38kg. Produk ini memenuhi standar EN/IEC 61000-4-6 level 3, EN/IEC 61000-4-11, EN/IEC 60068-2-27 Ea, EN/IEC 61000-4-5, EN/IEC 60068-2-6 Fc, EN/IEC 61000-4-12, EN/IEC 61000-4-2 level 3, EN/IEC 61000-4-3 dan EN/IEC 61000-4-4 level 3. Mudah dipilih, diinstal, dan diprogram, Zelio Logic cocok untuk semua aplikasi Anda. Fleksibel, memberikan pilihan 2 rangkaian, kompak atau modular, dapat diperpanjang dan 2 bahasa pemrograman (FBD atau *LADDER*). Mudah digunakan, Zelio Logic memberikan alternatif nyata bagi solusi berbasis logika kabel atau kartu khusus.

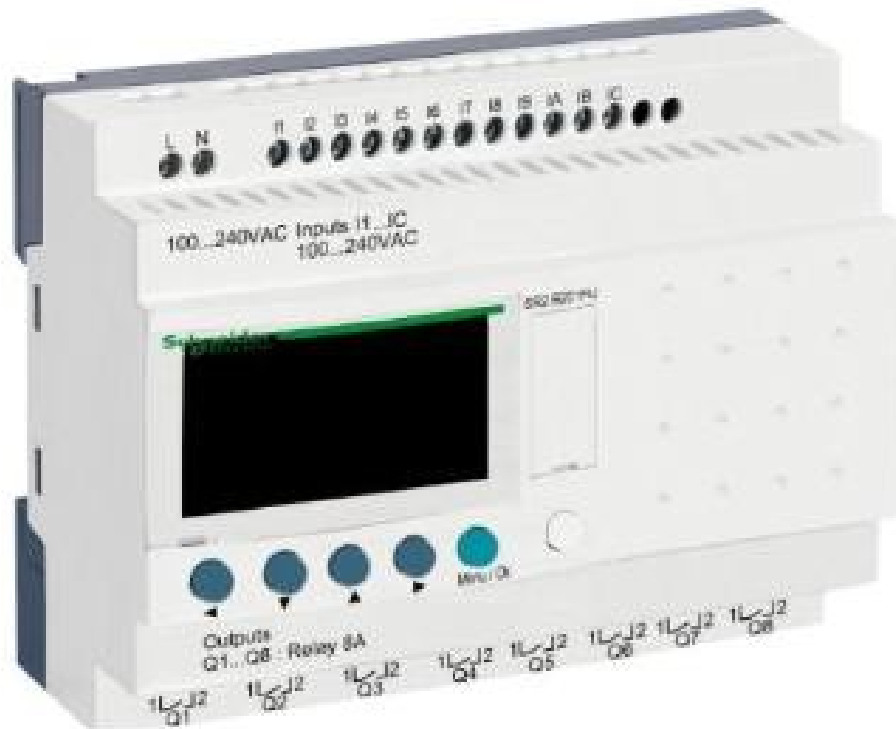
Zelio Smart Relay merupakan perangkat kontrol otomatis yang dapat diprogram menggunakan dua metode pemrograman, yaitu ladder diagram maupun Function Block Diagram (FBD). Perangkat ini dikembangkan untuk menggantikan sistem kontrol berbasis rangkaian relay konvensional yang menggunakan instalasi langsung. Dengan adanya smart relay, rangkaian kontrol menjadi lebih sederhana, efisien, dan mudah dimodifikasi sesuai kebutuhan proses otomatisasi.

Dalam kegiatan ini digunakan Schneider Zelio Smart Relay tipe SR2B201FU. Model tersebut memiliki kapasitas 12 input dan 8 output relay, sehingga mampu menangani berbagai aplikasi kontrol dengan fleksibilitas tinggi. Selain itu, perangkat ini mendukung pemrograman hingga 240 baris ladder diagram dan 500 blok FBD, memberikan keleluasaan dalam merancang logika kontrol yang kompleks.

Zelio SR2B201FU beroperasi dengan tegangan input 100–240 VAC, sehingga kompatibel dengan berbagai sistem tenaga listrik industri maupun komersial. Dengan fitur-fitur tersebut, perangkat ini menjadi solusi praktis untuk menggantikan sistem kontrol relay tradisional sekaligus meningkatkan keandalan dan efisiensi dalam proses otomatisasi. (www.se.com, 2021).

Zelio smart relay dapat menjadi alternatif PLC yang memiliki harga mahal. Karena zelio smart relay sendiri merupakan PLC dengan ukuran yang compact dengan pin input dan

output lebih sedikit. Dengan bahasa program yang mudah dipahami serta fitur yang sama dengan PLC pada umumnya, memilih zelio smart relay sangatlah masuk akal.



Gambar 2. 13 Smart Relay Zelio

Sumber : google.com

2.2.7 Zelio Soft

Zelio Soft merupakan software yang dipergunakan untuk pemrograman pada Schneider Zelio Smart Relay. Software ini bisa menggunakan 2 bahasa pemrograman yaitu *ladder* dan *function blok diagram*. Aplikasi ini diinstalasi dan dioperasikan melalui computer desktop ataupun pc. Jika pemrograman sudah dilakukan maka program tersebut akan dieksport ke dalam memori modul smart relay menggunakan kabel USB pc *connecting*, dari Schneider (www.se.com, 2021). Zelio Soft merupakan perangkat software yang dikembangkan Schneider untuk memprogram Zelio Smart Relay.

Zelio soft memiliki banyak utilitas yang dapat digunakan selain memprogram menggunakan bahasa program ladder ataupun FBD. Zelio soft dapat difungsikan untuk memonitoring sistem yang dibangun secara real-time selama perangkat laptop atau PC yang digunakan masih terhubung dengan smart relay. Zelio soft juga memiliki fitur untuk menjalankan simulasi tanpa mengupload terlebih dulu program yang telah ditulis. Yang mana hal ini mempermudah programmer untuk melihat ketidaksesuaian dari ladder diagram atau function block diagram. Zelio memiliki fungsi utama sebagai berikut:

- Pemrograman Logika

Zelio Soft 2 menyediakan lingkungan pemrograman berbasis diagram ladder (ladder diagram) maupun function block diagram. Kedua metode ini memudahkan pengguna dari berbagai latar belakang, baik teknisi maupun mahasiswa, untuk memahami alur logika sistem kendali.

- Simulasi Program

Salah satu keunggulan utama adalah fitur simulasi internal. Program yang telah dirancang dapat diuji langsung di komputer tanpa harus diunduh ke perangkat relay. Hal ini memungkinkan identifikasi kesalahan logika lebih dini, sehingga proses debugging menjadi lebih efisien.

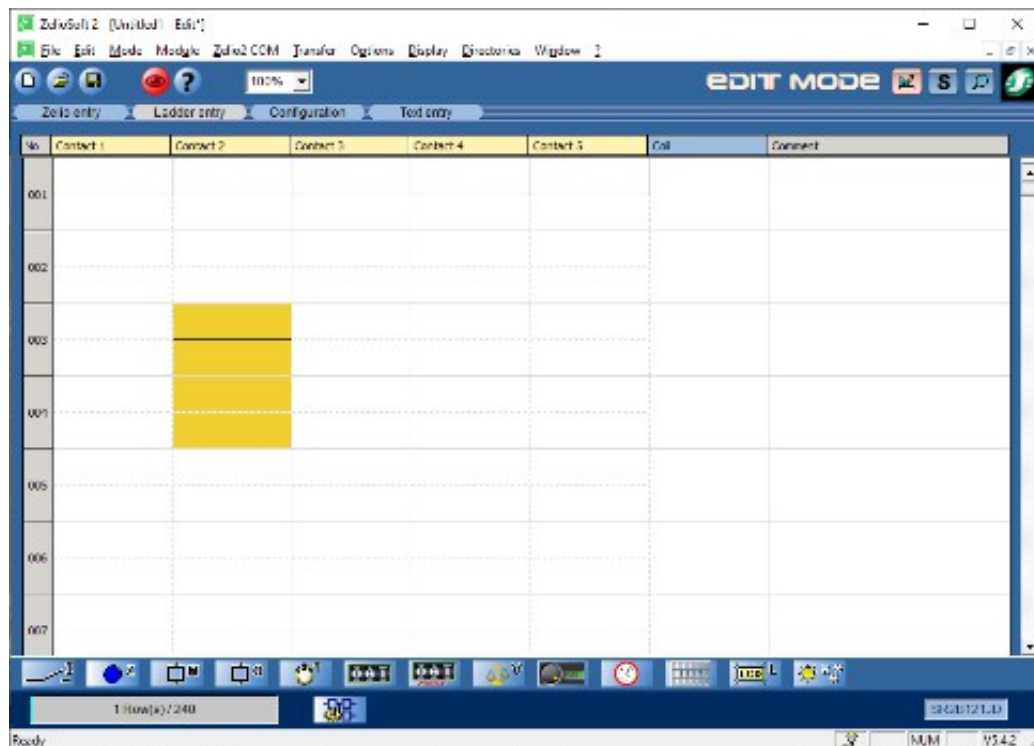
- Upload dan Download Program

Software ini mendukung komunikasi dua arah dengan perangkat Zelio Logic. Pengguna dapat mengunggah program dari komputer ke relay, maupun mengunduh program yang sudah ada dari relay ke komputer untuk keperluan analisis atau modifikasi.

- Dokumentasi Otomatis

Zelio Soft 2 dilengkapi dengan fitur pencetakan dokumentasi program. Setiap rangkaian logika yang dibuat dapat diubah menjadi dokumen teknis yang rapi, sehingga memudahkan proses pelaporan, dokumentasi proyek, maupun kebutuhan akademis.

Software ini juga cukup mudah untuk diakses. Software ini dapat didownload melalui website schneider secara langsung atau melalui CD yang ikut dalam paket pembelian smart relaynya. Zelio Soft 2 tersedia dalam beberapa versi, dengan pembaruan yang terus dilakukan oleh Schneider Electric. Versi terbaru (misalnya V5.4.x) mendukung sistem operasi Windows modern, mulai dari Windows 7 hingga Windows 11, dan kompatibel dengan seluruh keluarga Zelio Logic Smart Relay (seri SR2 dan SR3). Ukuran file instalasi relatif ringan, sehingga mudah diunduh dan dipasang pada komputer standar tanpa memerlukan spesifikasi tinggi



Gambar 2. 14 Zelio Soft Two

Sumber : dokumentasi pribadi