



KEMENTERIAN
KETENAGAKERJAAN
REPUBLIK
INDONESIA



MODUL

PELATIHAN BERBASIS KOMPETENSI MELAKUKAN ANALISA OPERASI SISTEM (D.35.124.00.015.1)

KEMENTERIAN KETENAGAKERJAAN R.I.

DIREKTORAT JENDERAL PEMBINAAN PELATIHAN VOKASI DAN PRODUKTIVITAS

DIREKTORAT BINA STANDARDISASI KOMPETENSI DAN PROGRAM PELATIHAN

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
KATA PENGANTAR	ii
A. PENDAHULUAN	1
B. PANDUAN PENGGUNAAN MODUL	1
C. SILABUS	3
D. PENGETAHUAN	6
1. Merencanakan Dan Menyiapkan Analisa Operasi Sistem	6
2. Melaksanakan Analisa Operasi Sistem	13
3. Memeriksa Pelaksanaan Analisa Operasi Sistem	22
4. Membuat Laporan Pekerjaan	27
5. Evaluasi Pengetahuan	33
E. KETERAMPILAN DAN SIKAP KERJA.....	30
1. Lembar Instruksi Kerja.....	30
a. Informasi Umum	30
b. Soal Praktik	31
c. Penilaian Praktik	33
2. Evaluasi Praktik	35
F. EVALUASI PERSONAL	35
G. LAMPIRAN	35
1. Kamus Istilah	35
2. Referensi	36
3. Unit Kompetensi	36
4. Daftar Nama Penyusun	40

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, Modul Pelatihan Berbasis Kompetensi dengan judul **“Melaksanakan Analisa Operasi Sistem (D.35.124.00.015.1)”** dapat tersusun dengan baik. Modul ini disusun berdasarkan Kepmenaker Nomor 305 Tahun 2019 tentang SKKNI Bidang Transmisi Tenaga Listrik

Sesuai PP No. 31 tahun 2016 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional dan Perpres No. 68 tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Vokasi, program pelatihan harus mengacu kepada standar kompetensi kerja. Untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, peserta harus menguasai pengetahuan, keterampilan dan sikap yang dipersyaratkan.

Modul pelatihan ini dibuat sebagai sumber materi bagi peserta pelatihan untuk menguasai satu unit kompetensi tertentu. Modul mengandung pengetahuan, teori, informasi serta lembar instruksi kerja atau praktik kerja yang harus dipahami dan dikuasai agar peserta memiliki kompetensi yang dibutuhkan dunia usaha maupun dunia industri.

Semoga modul ini bermanfaat guna menghasilkan tenaga kerja yang kompeten dan berdaya saing tinggi.

Jakarta, Oktober 2024

Direktur
Bina Standardisasi Kompetensi
dan Program Pelatihan



Moh. Amir Syarifuddin, S.T, M.M
NIP. 19690725 199703 1 001

A. PENDAHULUAN

Tuntutan pembelajaran berbasis kompetensi menjadi sangat penting dalam meningkatkan kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten, sesuai dengan tuntutan kebutuhan pasar kerja. Selaras dengan tuntutan tersebut, maka dibutuhkan mekanisme pelatihan yang lebih praktis, aplikatif, serta dapat menarik dilaksanakan sehingga memotivasi para peserta dalam melaksanakan pelatihan yang diberikan. Seiring dengan mudahnya teknologi digunakan, maka materi pelatihan dapat disajikan dengan berbagai media pembelajaran sehingga dapat diakses secara offline dan online.

Modul pelatihan merupakan buku panduan dalam menyampaikan Materi Pelatihan yang berisi pengetahuan, keterampilan dan sikap yang diperlukan untuk mencapai kompetensi di unit ini.

B. PANDUAN PENGGUNAAN MODUL

Beberapa ketentuan panduan penggunaan materi yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Modul ini dapat dijadikan rujukan untuk pelaksanaan PBK dengan penggunaannya dapat dikembangkan dan dikontekstualisasikan sesuai dengan kebutuhan, materi ini terdiri dari:
 - a. Pengetahuan
 - b. Keterampilan dan Sikap Kerja
 - c. Evaluasi
 - d. Lampiran:
 - 1) Kamus istilah
 - 2) Daftar referensi
 - 3) Unit kompetensi
 - 4) Daftar penyusun
2. Slide *powerpoint* dan video merupakan kelengkapan yang dapat dijadikan referensi bagi para instruktur.
3. Peran instruktur terkait dengan penggunaan modul, antara lain:
 - a. Instruktur dapat menggunakan modul ini yang dilengkapi dengan referensi sumber lainnya seperti buku, video, file presentasi dan

lain-lain sehingga diharapkan modul ini dapat diimplementasikan disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing Lembaga pelatihan.

- b. Proses pembelajaran dapat disampaikan dengan menggunakan berbagai sumber yang menguatkan peserta pelatihan, baik melalui tahapan persiapan, pelaksanaan di kelas, praktek, melakukan investigasi, menganalisa, mendiskusikan, tugas kelompok, presentasi, serta menonton video.
 - c. Keseluruhan materi yang tersedia sebagai referensi dalam buku ini dapat menjadi bahan dan gagasan untuk dikembangkan oleh instruktur dalam memperkaya materi pelatihan yang akan dilaksanakan.
- 4. Evaluasi pencapaian kompetensi peserta dapat dilaksanakan sesuai dengan proses penilaian berupa soal tertulis, wawancara, instruksi demonstrasi dan/atau standard produk yang dipersiapkan oleh instruktur
 - 5. Referensi merupakan referensi yang menjadi acuan dalam penyusunan buku panduan pelatihan ini.
 - 6. Lampiran merupakan bagian yang berisikan lembar kerja serta bahan yang dapat digunakan sebagai berkas kelengkapan pelatihan.

C. SILABUS

Unit Kompetensi	: Melaksanakan Analisa Operasi Sistem
Kode Unit	: D.35.124.00.015.1
Perkiraan Waktu	: 30 JP @ 45 menit
Bentuk	: Luring/Daring/ <i>Blended</i> (*)
Capaian Unit Kompetensi	: Terlaksananya perencanaan, persiapan, pemeriksaan dan pelaporan dalam melaksanakan analisa operasi sistem sesuai SOP yang berlaku

ELEMEN KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KERJA	INDIKATOR UNJUK KERJA	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN DAN SIKAP	DURASI
1. Merencanakan dan menyiapkan melaksanakan analisa operasi sistem	1.1 Gambar teknik instalasi tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi dan alat bantu dipelajari sesuai <i>Standing Operation Procedure</i> (SOP).	Direncanakan dan disiapkannya analisa operasi sistem sesuai dengan prosedur.	Penjelasan tentang: 1.1 Teori listrik dasar 1.2 Bahan listrik 1.3 Rangkaian resistansi, induktansi, kapasitansi dan impedansi jaringan transmisi tegangan tinggi 1.4 Peraturan dan prosedur K2 pada pelaksanaan analisa operasi sistem	1.1 Menggambar diagram teknik instalasi tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi sesuai <i>Standing Operation Procedure</i> (SOP).	6 JP
	1.2 Rencana kerja disusun agar pekerjaan dapat diselesaikan sesuai jadwal yang ditetapkan			1.2 Menyusun Rencana kerja agar pekerjaan dapat diselesaikan sesuai jadwal yang ditetapkan	
	1.3 Personil berwenang dihubungi untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan sesuai Struktur Organisasi Unit Kerja yang berlaku			1.3 Menghubungi Personil berwenang untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan sesuai Struktur Organisasi Unit Kerja yang berlaku	

	1.4 Alat kerja, alat Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan alat bantu disiapkan sesuai keperluan dan standar melaksanakan analisa operasi sistem yang ditetapkan perusahaan.			1.4 Menyiapkan Alat kerja, alat Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan alat bantu sesuai keperluan dan standar melaksanakan analisa operasi sistem yang ditetapkan perusahaan	
	1.5 Perintah yang diterima diperiksa untuk memastikan bahwa instruksi dapat dilaksanakan sesuai standar perusahaan.			1.5 Memeriksa Perintah yang diterima untuk memastikan bahwa instruksi dapat dilaksanakan sesuai standar perusahaan	
	1.6 Prosedur dan peraturan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dipahami sesuai standar yang berlaku.			1.6 Memahami Prosedur dan peraturan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) sesuai standar yang berlaku	
2 Melaksanakan analisa operasi sistem	<p>2.1 Peralatan Bantu dipasang sesuai Standing Operation Procedure (SOP) melaksanakan analisa operasi system</p> <p>2.2 Melaksanakan pengawasan operasi sistem.</p>	Dilaksanakannya analisa operasi sistem sesuai dengan prosedur	<p>Penjelasan tentang :</p> <p>2.1 Alat ukur dan pengukuran besaran listrik</p> <p>2.2 Konstruksi instalasi gardu induk</p> <p>2.3 Peralatan/komponen instalasi gardu induk</p> <p>2.4 Peralatan kerja dan material untuk melaksanakan analisa operasi sistem</p>	<p>2.1 Memasang Peralatan Bantu sesuai Standing Operation Procedure (SOP) melaksanakan analisa operasi system</p> <p>2.2 Melaksanakan pengawasan operasi sistem</p>	10 JP

	2.3 Melaksanakan pengawasan rencana operasi harian.			2.3 Melaksanakan pengawasan rencana operasi harian.	
3 Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem	3.1 Melaksanakan analisa operasi sistem.	Diperiksanya pelaksanaan analisa operasi system dan dibandingkan dengan target yang telah ditentukan	Penjelasan tentang : 3.1 Dasar penerapan mekanika transformator 3.2 Fenomena arus hubung singkat 3.3 Tingkat besar arus hubung singkat 3.4 Gaya aksial dan radial pada kumparan trafo 3.5 Pengaruh temperatur terhadap kapasitas trafo	3.1 Melaksanakan analisa operasi sistem	10 JP
	3.2 Hasil melaksanakan analisa operasi system dibandingkan dengan target yang telah ditentukan.			3.2 Membandingkan Hasil melaksanakan analisa operasi system dengan target yang telah ditentukan.	
4 Membuat laporan pekerjaan	4.1 Laporan pekerjaan dibuat sesuai dengan format dan prosedur yang ditetapkan perusahaan	Dibuatnya laporan pekerjaan sesuai prosedur yang ditetapkan.	Penjelasan tentang : 4.1 Format laporan pekerjaan analisa operasi sistem 4.2 Tata cara pembuatan dan penyimpanan dokumen berita acara	4.1 Membuat Laporan pekerjaan sesuai dengan format dan prosedur yang ditetapkan perusahaan	4 JP
	4.2 Berita acara pekerjaan dibuat sesuai prosedur yang ditetapkan perusahaan.			4.2 Membuat berita acara analisa operasi system dengan cermat dan teliti	
Asesmen					

*) coret yang tidak perlu

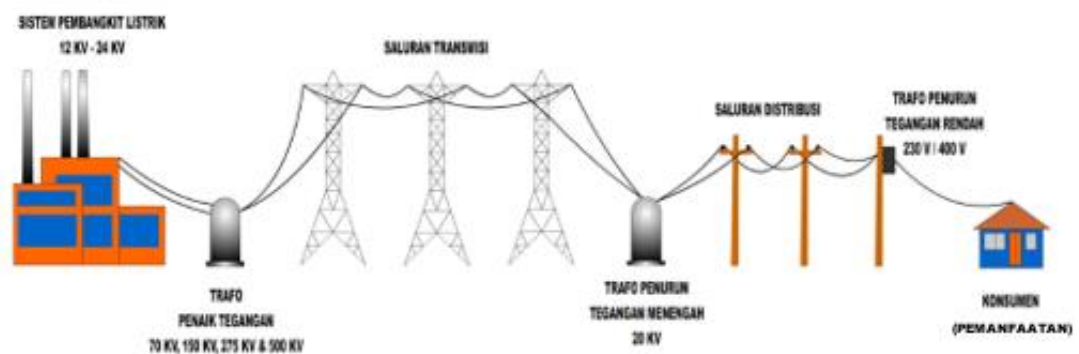
D. PENGETAHUAN

Setiap tenaga teknik perlu memahami bidang dan sub bidang pekerjaan ketenagalistrikan dikarenakan setiap instalasi memiliki beberapa perbedaan diantaranya material, tingkat bahaya resiko, peralatan keselamatan, alat kerja, serta standar yang berbeda.

Instalasi penyediaan tenaga listrik, dibagi menjadi empat bidang, yaitu :

- Pembangkitan tenaga listrik
- Transmisi tenaga listrik
- Distribusi tenaga listrik
- Instalasi pemanfaatan tenaga listrik (IPTL)

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran transmisi. Hal ini terjadi pada gardu-gardu induk (substation) di mana juga dilakukan transformasi tegangan dan fungsi-fungsi pemutusan (breaker) dan penghubung beban (switching). Gambar 1 memperlihatkan sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit sampai ke pengguna/pelanggan.



Gambar 1 Instalasi penyaluran tenaga listrik

1. Merencanakan dan menyiapkan analisa operasi sistem

Sebelum menganalisis operasi sistem transmisi, perlu dipahami beberapa hal mengenai sebuah jaringan transmisi, diantaranya :

- Karakteristik dasar saluran transmisi

- Gambar teknik instalasi tegangan tinggi dan ekstra tinggi
- Alat kerja, alat Keselamatan Ketenagalistrikan, dan alat bantu melaksanakan analisa operasi sistem
- Perintah kerja adalah lembar penugasan dengan format sesuai dengan kebijakan masing-masing perusahaan yang berisi deskripsi penugasan bagi petugas pelaksana.

1.1 Teori Listrik Dasar

Tegangan pada generator besar biasanya berkisar di antara 13,8 kV dan 24 kV. Tetapi generator besar yang modern dibuat dengan tegangan bervariasi antara 18kV dan 24 kV. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat yang dipakai untuk transmisi, yaitu 115 kV dan 765 kV. Tegangan tinggi standar (high voltage, HV standard) di luar negeri adalah 70 kV, 150 kV, dan 220 kV. Tegangan tinggi-ekstra standar (extra high voltage, HV standard) adalah 500 kV dan 700 kV.

Saluran transmisi memiliki jarak yang sangat jauh sehingga menimbulkan sifat induktif sekaligus kapasitif yang berefek pada operasional saluran transmisi tersebut. Salah satunya adalah tegangan sisi penerima bisa menjadi lebih tinggi dari sisi pengirim bahkan ketika tanpa beban atau beban yang kecil. Hal tersebut menyebabkan overvoltage yang merusak peralatan ketika beban diputus secara tiba-tiba. Efek lainnya adalah tegangan sisi penerima berubah-ubah tergantung pada daya aktif yang ditransmisikan saluran. Sehingga memerlukan cara atau metode untuk menjaga stabilitas tegangan, yang biasa disebut kompensasi tegangan, dimana besarnya tegangan sisi penerima dan pengirim adalah sama. Kompensasi tegangan tersebut dapat dicapai dengan metode paling sederhana yaitu *switched shunt compensation* (SSC) yang diletakkan di beberapa gardu induk sepanjang jalur transmisi.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah sarana di udara untuk

menyalurkan tenaga listrik berskala besar dari Pembangkit ke pusat-pusat beban dengan menggunakan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi. SUTT/SUTET merupakan jenis Saluran Transmisi Tenaga Listrik yang banyak digunakan di PLN daerah Jawa dan Bali karena harganya yang lebih murah dibanding jenis lainnya serta pemeliharaannya mudah.

Macam Saluran Udara yang ada di Sistem Ketenagalistrikan PLN P3B Jawa Bali seperti gambar 4.2 dan gambar 4.3

- Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
- Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
- Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV



Gambar 2. SUTT 150 kV dan SUTET 500 kV

1.2 Bahan Listrik

Dalam sistem transmisi listrik, terdapat beberapa bahan dan komponen utama yang digunakan untuk mentransmisikan daya listrik dari pembangkit listrik ke konsumen akhir. Berikut adalah bahan-bahan utama yang digunakan dalam transmisi listrik:

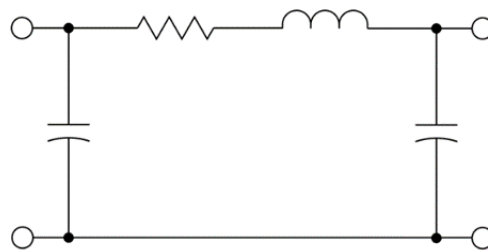
- a. Kabel Konduktor: Kabel konduktor adalah komponen utama dalam transmisi listrik yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. Bahan yang paling umum digunakan adalah aluminium. Aluminium sering dipilih karena lebih ringan dan lebih murah dibandingkan tembaga.

- b. Isolator: Isolator digunakan untuk memisahkan kabel konduktor dari menara transmisi dan bagian lainnya yang mungkin bersentuhan dengan tanah. Bahan isolator yang umum digunakan adalah porselen, kaca, dan polimer komposit. Isolator ini dirancang untuk menahan tegangan tinggi dan mencegah kebocoran arus listrik.
- c. Menara Transmisi: Menara transmisi adalah struktur yang digunakan untuk menopang kabel konduktor di udara. Menara ini biasanya terbuat dari baja galvanis karena kuat, tahan korosi, dan mampu menahan beban kabel serta kondisi cuaca ekstrem.
- d. Ground Wire (Kawat Tanah): Kawat tanah adalah kabel yang dipasang di atas konduktor fase pada menara transmisi yang berfungsi sebagai pelindung dari sambaran petir dan juga sebagai jalur kembali arus listrik jika terjadi gangguan atau kebocoran.
- e. Transformator: Transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik dalam proses transmisi. Pada pembangkit listrik, transformator menaikkan tegangan untuk mengurangi kerugian daya selama transmisi jarak jauh. Di sisi konsumen, transformator menurunkan tegangan ke tingkat yang aman untuk penggunaan sehari-hari.
- f. Sakelar dan Pemutus Sirkuit: Sakelar dan pemutus sirkuit digunakan untuk mengendalikan aliran listrik dan melindungi sistem dari gangguan atau arus lebih. Mereka memungkinkan bagian tertentu dari jaringan listrik dimatikan untuk perawatan atau jika terjadi masalah.
- g. Arrester Petir: Arrester petir digunakan untuk melindungi peralatan dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir. Perangkat ini mengarahkan lonjakan arus listrik langsung ke tanah, mencegah kerusakan pada peralatan listrik.
- h. Peralatan Pendukung: Termasuk isolator tegangan tinggi, peredam getaran, dan aksesoris lainnya yang membantu memastikan integritas mekanis dan listrik dari sistem transmisi.

Setiap bahan dan komponen ini memainkan peran penting dalam memastikan transmisi listrik yang efisien dan aman dari pembangkit listrik hingga ke pengguna akhir.

1.3 Rangkaian resistansi, induktansi, kapasitansi dan impedansi jaringan transmisi tegangan tinggi

Untuk menyederhanakan saluran transmisi ke dalam sebuah rangkaian listrik, dibutuhkan sebuah rangkaian ekuivalen RLC yang merepresentasikan sifat dasar sebuah saluran, seperti ditunjukkan gambar di bawah.



Gambar 3 Rangkaian ekuivalen saluran transmisi

Resistansi (Tahanan) Sebuah Transmisi, timbul karena setiap penghantar listrik bersifat melawan arus yang mengalir pada penghantar tersebut. Besar kecilnya nilai tahanan penghantar tergantung dari panjang (l) dan luas penampang (A), seperti ditunjukkan oleh persamaan:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Induktansi Sebuah Jaringan Transmisi muncul akibat penghantar yang dilalui oleh arus listrik, dengan sendirinya akan timbul medan magnet yang mana garis-garis gaya seolah-olah berbentuk lingkaran konsisten yang berpusat pada pusat penghantar dan merambat tegak lurus pada sepanjang konduktor. Induktansi tergantung pada jarak antara konduktor, semakin besar jaraknya semakin besar induktansinya, dan semakin besar jari-jari konduktor semakin kecil induktansinya.

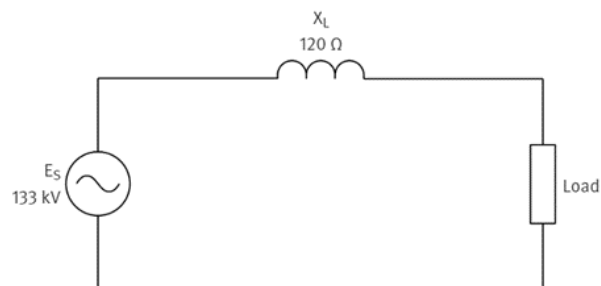
Dua buah konduktor yang dipisahkan oleh suatu medium adalah sebuah kapasitor. Dalam hal ini jaringan transmisi udaralah

merupakan dua buah plate kapasitor yang dipisahkan oleh udara dengan yang lain. Kapasitansi ini didistribusikan sepanjang jaringan dan dipandang sebagai bentuk kondensator yang diserikan yang tersambung antar konduktor.

Bilamana suatu perbedaan tegangan dihubungkan pada jaringan, dengan demikian pada jaringan transmisi akan ada arus leading yang mengalir walaupun jaringan transmisi belum dibebani, arus ini sering disebut Charging Current (IC).

Pengecilan jumlah arus yang mengalir pada jaringan dapat memperkecil kerugian pada jaringan dan demikian pula dapat menambah efisiensi transmisi. Memperkecil rugi tegangan atau memperbaiki regulasi tegangan. Keuntungan lain dari jaringan transmisi berkapasitansi tinggi adalah menambah kapasitas beban dan memperbaiki faktor daya.

Untuk memahami prinsip dasar karakteristik saluran transmisi, rangkaian ekivalen sebelumnya dapat disederhanakan menjadi hanya induktor saja yang memiliki nilai Reaktansi X_L .

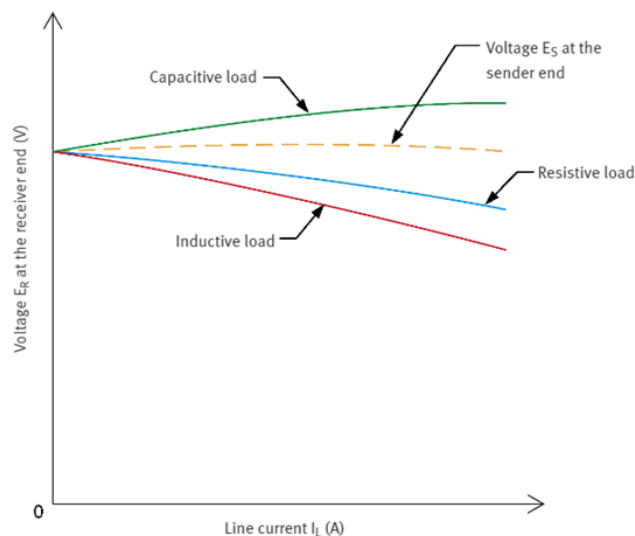


Gambar 4. Penyederhanaan rangkaian ekivalen saluran

Jika X_L 120 Ω , Load 10.000 Ω dan 240 Ω , dan tegangan sumber E_S 133 kV, besar tegangan beban atau penerima E_R pada tiga sifat beban (resistif, induktif kapasitif), dapat dihitung menggunakan hukum Ohm:

Beban resistif 10 kΩ $Z = \sqrt{R_{Load}^2 + X_L^2} = \sqrt{(10\,000\,\Omega)^2 + (120\,\Omega)^2} = 10\,001\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{133\,000\,\text{V}}{10\,001\,\Omega} = 13.3\,\text{A}$ $E_R = I_L \times R_{Load} = 13.3\,\text{A} \times 10\,000\,\Omega = 133\,000\,\text{V}$	Beban resistif 240 Ω $Z = \sqrt{R_{Load}^2 + X_L^2} = \sqrt{(240\,\Omega)^2 + (120\,\Omega)^2} = 268\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{133\,000\,\text{V}}{268\,\Omega} = 496\,\text{A}$ $E_R = I_L \times R_{Load} = 496\,\text{A} \times 240\,\Omega = 119\,040\,\text{V}$
Beban induktif XL 10 kΩ $Z = X_T = X_L + X_{L, \text{load}} = 120\,\Omega + 10\,000\,\Omega = 10\,120\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{133\,000\,\text{V}}{10\,120\,\Omega} = 13.1\,\text{A}$ $E_R = I_L \times X_{L, \text{load}} = 13.1\,\text{A} \times 10\,000\,\Omega = 131\,000\,\text{V}$	Beban induktif XL 240 Ω $Z = X_T = X_L + X_{L, \text{load}} = 120\,\Omega + 240\,\Omega = 360\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{133\,000\,\text{V}}{360\,\Omega} = 369\,\text{A}$ $E_R = I_L \times X_{L, \text{load}} = 369\,\text{A} \times 240\,\Omega = 88\,560\,\text{V}$
Beban kapasitif Xc 10 kΩ $Z = X_T = X_L - X_{C, \text{load}} = 120\,\Omega - 10\,000\,\Omega = -9880\,\Omega = 9880\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{133\,000\,\text{V}}{9880\,\Omega} = 13.5\,\text{A}$ $E_R = I_L \times X_{C, \text{load}} = 13.5\,\text{A} \times 10\,000\,\Omega = 135\,000\,\text{V}$	Beban induktif Xc 240 Ω $Z = X_T = X_L - X_{C, \text{load}} = 120\,\Omega - 240\,\Omega = -120\,\Omega = 120\,\Omega$ $I_L = \frac{E_S}{Z} = \frac{130\,000\,\text{V}}{120\,\Omega} = 1108\,\text{A}$ $E_R = I_L \times X_{C, \text{load}} = 1108\,\text{A} \times 240\,\Omega = 265\,920\,\text{V}$

Dari perhitungan di atas, untuk beban resistif dan induktif, tegangan E_R sisi penerima semakin turun seiring naiknya arus beban I_L . Penurunan terbesar terjadi ketika beban bersifat induktif yang artinya perbedaan atau jatuh tegangan terjadi paling besar pada beban induktif. Sedangkan pada beban kapasitif, saat I_L meningkat, justru tegangan E_R dapat melebihi E_S . Ini dapat terjadi jika tidak ada beban resistif maupun induktif pada rangkaian. Dari perhitungan tersebut, dapat dibuat grafik seperti pada Gambar.



Gambar 5. Karakteristik beban terhadap tegangan sisi penerima

Pada umumnya jaringan transmisi diklasifikasikan ke dalam 3 golongan yaitu transmisi jarak pendek; transmisi jarak menengah, dan transmisi jarak jauh dengan karakteristik berikut:

Tabel 1 Perbandingan jenis transmisi berdasarkan panjang saluran

Jenis	Jarak	Tegangan	Rangkaian Ekuivalen
Pendek	<80km	20 kV	Resistansi dan induktansi, Kapasitansi kecil, dapat diabaikan
Menengah	80 – 100 km	20 – 100 kV	RLC diperhitungkan
Jauh	>100 km	>100 kV	RLC diperhitungkan

1.4 Peraturan dan Prosedur K2 pada Pelaksanaan Operasi Sistem

Sesuai amanat Undang – Undang Keselamatan Ketenagalistrikan No. 30 Tahun 2009, setiap tenaga teknik yang bekerja dalam bidang ketenagalistrikan harus menggunakan Alat Pelindung Diri (APD).



Gambar 6. APD yang dibutuhkan saat analisa operasi sistem

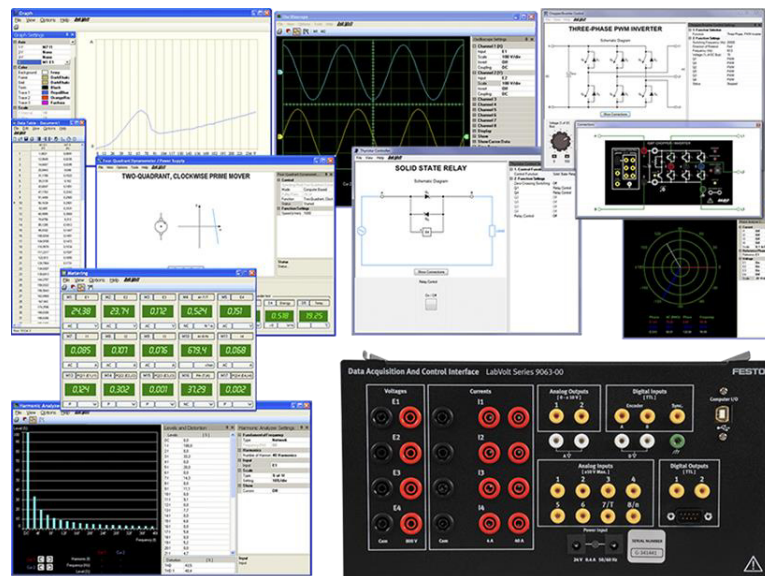
2. Melaksanakan analisa operasi system

Melaksanakan analisa operasi sistem dalam konteks sistem tenaga listrik melibatkan berbagai langkah dan proses untuk memastikan bahwa sistem beroperasi secara efisien, andal, dan aman. Banyak fenomena kelistrikan yang terjadi dalam sebuah sistem transmisi, namun yang sering kali terjadi dan mudah dipahami adalah regulasi atau pengaturan tegangan disebabkan overvoltage dan undervoltage.

2.1 Alat Ukur dan Pengukuran Besaran Listrik

Alat ukur yang digunakan adalah voltmeter, ohmeter, dan amperemeter yang sering dijumpai dalam satu kemasan berupa Multimeter. Karena terkait saluran transmisi, jenis tegangan dan arus yang diukur adalah AC. Dibutuhkan dua set alat ukur untuk pengukuran di sisi sumber dan pengukuran di sisi beban.

Saat ini, alat ukur tersedia dalam bentuk software yang memungkinkan pengukuran sekaligus monitoring untuk memantau parameter kelistrikan dari simulasi saluran transmisi. Salah satunya bernama LVDAC-EMS. Software ini dapat menampilkan semua parameter kelistrikan dalam bentuk angka, grafik, maupun chart serta melihat tren dalam kurun waktu tertentu.



Gambar 7. Tampilan software LVDAC-EMS pada monitor komputer

Jaringan transmisi didasarkan pada rangkaian listrik yang mempunyai besaran- besaran yang didistribusikan. Besaran-besaran tersebut adalah resistansi, induktansi dan kapasitansi. Besaran-besaran tersebut adalah seragam didistribusikan sepanjang jumlah panjang jaringan dan tidak mungkin dipusatkan pada satu titik.

Besaran-besaran ini selalu ditunjukkan sebagai resistansi, induktansi dan kapasitansi per kilometer (Ω / km). Data

– data di atas dapat diperoleh dari laporan pemeliharaan oleh pengawas lapangan yang umumnya berisi dokumentasi, hasil pengukuran, diagram / gambar garis tunggal dan lokasi pekerjaan di dalam laporan.

Regulasi tegangan

Adalah drop tegangan antara sisi pengirim dan penerima yang dinyatakan dalam persentase (%). Besar regulasi transmisi tidak boleh melebihi 50%. Secara matematis persentase regulasi jaringan transmisi adalah :

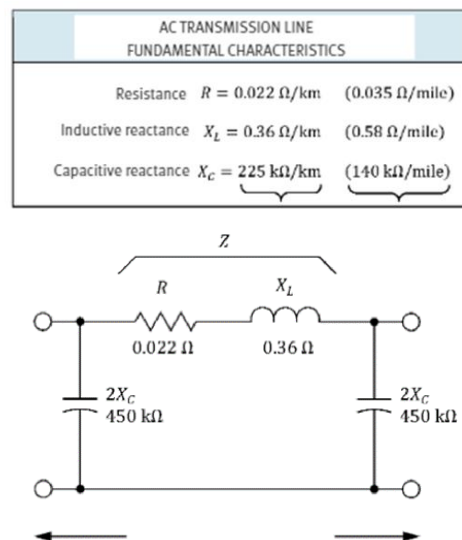
$$\% \text{ Reg} = \frac{V_s - V_R}{V_R} \times 100\%$$

Di mana :

V_s = Tegangan pada ujung pengiriman

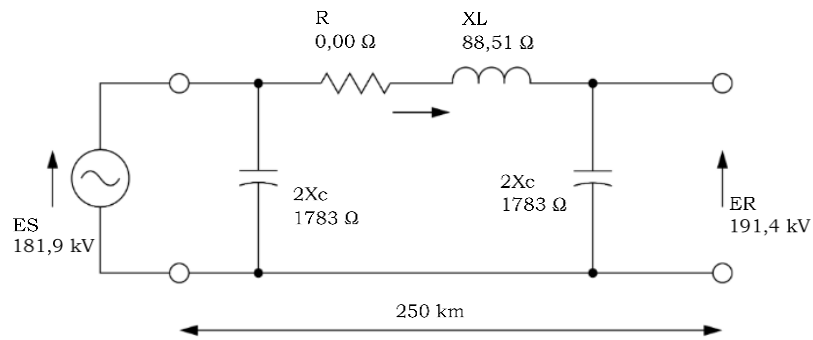
V_R = Tegangan pada ujung penerimaan

Salah satu metode analisa saluran transmisi, adalah menggunakan metode *Corrected PI* (π) *equivalent* yang bisa dianggap tepat untuk panjang transmisi hingga 625 km. Berikut data sebuah saluran transmisi



Gambar 8. Parameter saluran transmisi yang disederhanakan

Pada gambar di atas adalah besar karakteristik line transmisi per kilometer. Besar kapasitansi X_C saat di bagi untuk 2 buah kapasitor maka nilai per kapasitor adalah 2 kali lipatnya karena sifat hubungan paralel hukum Ohm. Dari karakteristik di atas, dapat dimisalkan untuk jarak transmisi 250 km seperti di bawah.



$$I_L = E_S / Z = E_S / (X_L - 2X_C) = 181900 / (88,51 - 1783) = 107,35 \text{ A}$$

$$Z = \text{abs}(-1694,5)$$

$$2X_C = 1783$$

$$X_L = 88,51$$

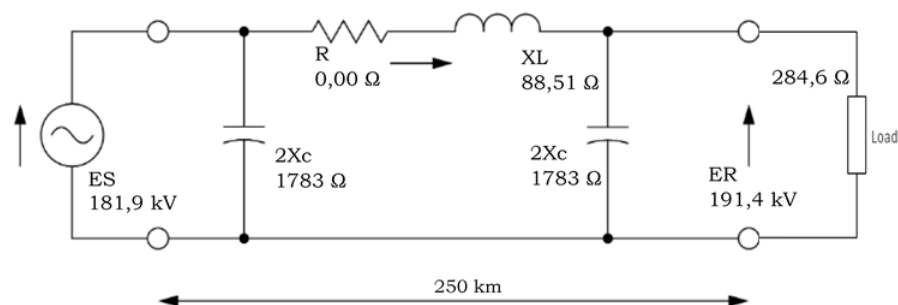
$$E_R = I_L \times 2x_c = 191400 \text{ V}$$

Dari perhitungan di atas, ketika jalur transmisi tanpa beban akan menimbulkan overvoltage di sisi penerima ($E_S > E_R$) akibat besarnya daya kapasitif dalam saluran, terbukti dari perhitungan berikut ini :

$$Q_{CLine} = \frac{E_S^2}{2X_C'} + \frac{E_R^2}{2X_C'} = \frac{181,9 \text{ kV}^2}{1783 \Omega} + \frac{191,4 \text{ kV}^2}{1783 \Omega} = 39,1 \text{ Mvar}$$

$$Q_{LLine} = X_L' \cdot I_L^2 = 88,51 \Omega \cdot 107,35 \text{ A}^2 = 1,02 \text{ Mvar}$$

Saat diberi beban, misal beban Resistif $284,6 \Omega$, tegangan sisi pengirim dan penerima akan mendekati sama. Demikian juga dengan besar daya reaktif pada kapasitor dan induktor.



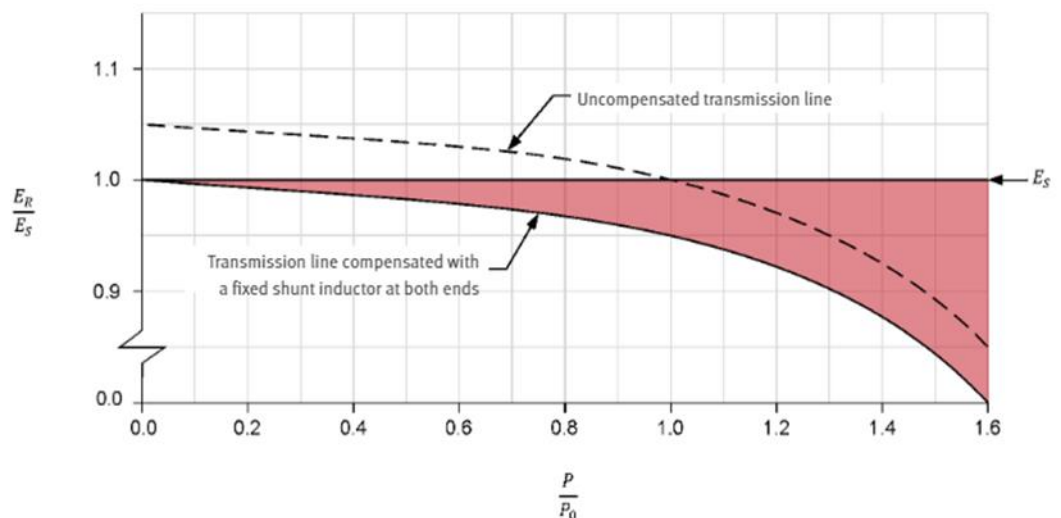
$$Q_{C\text{Line}} = \frac{E_S^2}{2X_C'} + \frac{E_R^2}{2X_C'} = \frac{181.9 \text{ kV}^2}{1783 \Omega} + \frac{181.9 \text{ kV}^2}{1783 \Omega} = 37.1 \text{ Mvar}$$

$$Q_{L\text{Line}} = X_L' \cdot I_L^2 = 88.51 \Omega \cdot 647.33 \text{ A}^2 = 37.1 \text{ Mvar}$$

Besarnya impedansi beban yang untuk membuat $E_R = E_S$ disebut juga karakteristik impedansi Z_0 .

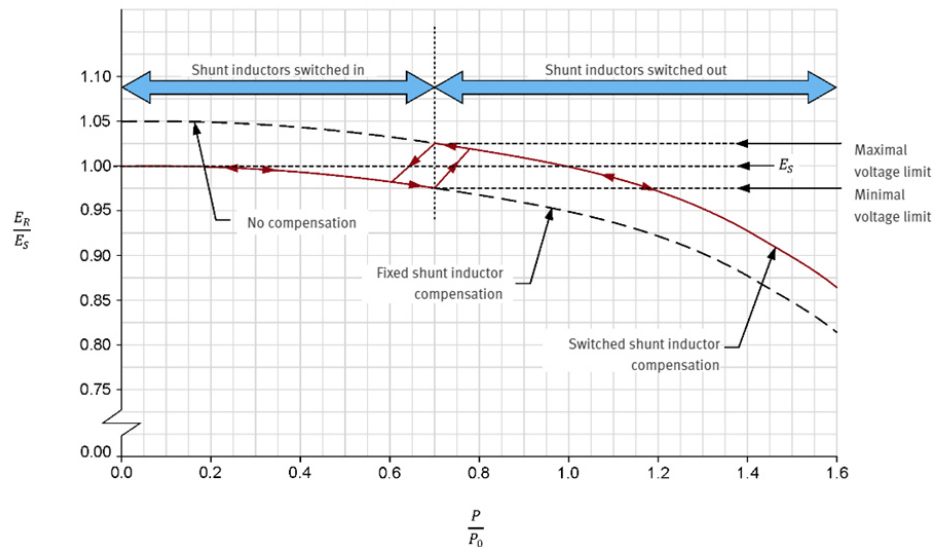
Kompensasi tegangan menggunakan Switched Shunt Compensation

Perbandingan E_R dan E_S terbaik adalah bernilai 1 jika tegangan pengirim dan penerima bernilai sama. Daya aktif yang dihasilkan sumber diharapkan sama dengan daya di sisi penerima. Dibutuhkan metode untuk menjaga tegangan dan daya tersebut tetap dalam batas yang dapat ditoleransi untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas tenaga listrik. Hubungan antara tegangan dan daya aktif yang menggunakan kompensator dan tanpa kompensator dapat dilihat dari gambar di bawah.



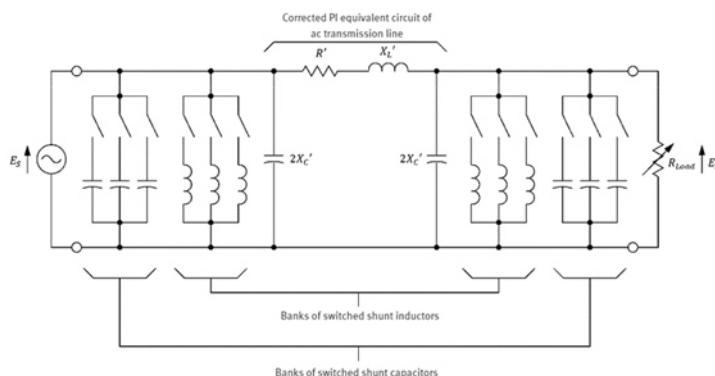
Gambar 9. Kurva efek kompensator shunt inductors terpasang permanen

Kompensator bisa ditambahkan saklar pemutus di masing – masing induktor sehingga ketika tegangan $E_R > E_S$, induktor akan masuk untuk menurunkan tegangan E_R , dan ketika $E_R < E_S$ induktor akan diputus, seperti dijelaskan oleh kurva di bawah.



Gambar 10. Kurva efek kompensator shunt inductors tersaklar

Ada kalanya tegangan E_R maupun E_S turun lebih jauh seiring meningkatnya beban, maka ditambahkan juga switched capacitors untuk menaikkan daya E_R maupun E_S . Sehingga rangkaian switched shunt compensator (SSC) secara lengkap ditunjukkan seperti gambar di bawah.



Gambar 11 *Switched shunt compensation* menggunakan *banks induktor* dan *kapasitor* tersaklar

Untuk mempraktekkan penggunaan SSC, dapat dengan merakit rangkaian sederhana yang disesuaikan dengan Gambar 11. Untuk saluran transmisinya dapat menggunakan peralatan berikut :

No	Nama Komponen/Alat	Spesifikasi	Jumlah
1	1 Phase AC Regulated Power Supply	Ouput AC 12V, 3A	1 set
2	Voltmeter AC	220VAC	2 set
3	Resistor variabel	10 ohm, 25W	1 buah
4	Resistor	200 ohm, 20W	1 buah

No	Nama Komponen/Alat	Spesifikasi	Jumlah
5	Induktor	37 μ H, 1A	1 buah
6	Kapasitor	Non polar, 22 μ F, 50V	4 buah
7	Kabel	0,75 mm ²	secukupnya

Kemudian untuk penerapan metode *Switched Shunt Compensation* (SSC) dapat menggunakan komponen sebagai berikut :

No	Nama Komponen/Alat	Spesifikasi	Jumlah
1	Induktor	37 μ H, 1A	6 buah
2	Kapasitor	Non polar, 22 μ F, 50V	6 buah
3	Kabel	0,75 mm ²	secukupnya
4	Saklar togel	3 pin	12 buah

Komponen di atas dapat dirakit menggunakan project board dengan penghubung kabel sehingga rangkaianannya dapat sesuai dengan Gambar 11.

2.2 Peralatan /Komponen Instalasi Gardu Induk

Switched shunt compensation (SSC) menggunakan banks induktor dan kapasitor tersaklar dipasang pada gardu induk transmisi untuk mengkompensasi perubahan tegangan di saluran transmisi.



Gambar 12. Shunt inductors untuk kompensasi tegangan



Gambar 13. Shunt capacitors untuk kompensasi tegangan

Besarnya daya aktif kompensator $P(\text{comp.})$ yang dihasilkan kompensator tegangan dapat dihitung dengan rumus :

$$P_{\text{Comp.}} = 3 \left(\frac{E_S E_R}{X_L'} \sin \delta \right)$$

Dimana : ES : Tegangan sisi pengirim (V)

ER : Tegangan sisi penerima (V)

X_L' : Reaktansi induktif dari rangkaian corrected PI equivalent (Ω)

δ : pergeseran fasa antara ER dan ES, ER sebagai referensi ($^\circ$)

Persamaan tersebut menjelaskan bahwa tegangan pengirim dan tegangan penerima dijaga konstan, bisa dikatakan saluran transmisi sudah terkompensasi dengan baik, daya kompensasi P_{comp} yang diberikan ke saluran adalah fungsi pergeseran fasa δ , maka pergeseran fasa δ menentukan berapa daya aktif dalam saluran.

P_{comp} dari 0 sampai $P_{\text{comp.}}$ maksimal adalah ketika pergeseran fasa δ dari 0° sampai 90° karena $\sin \delta$ bernilai 0 sampai 1. Sebaliknya P_{comp} menurun dari maksimal ke 0 ketika δ melewati 90° sampai 180° karena $\sin \delta$ menurun dari 1 ke 0. Berikut

adalah persamaan daya kompensasi maksimal yang dapat disalurkan ke saluran transmisi :

$$P_{\text{Max. (Comp.)}} = 3 \left(\frac{E_S E_R}{X_L'} \right)$$

Kompensasi tegangan dengan mengatur pergeseran fasa juga dapat dilakukan menggunakan trafo penggeser fasa daya aktif. Trafo tersebut adalah trafo khusus yang memiliki kemampuan menggeser fasa dari +30o sampai -30o antara tegangan masuk dan tegangan yang keluar. Trafo ini dipasang seri terhadap saluran transmisi dan bekerja ketika aliran daya aktif dalam sebuah jaringan interkoneksi perlu untuk dikondisikan. Trafo ini memungkinkan pengaturan arah daya aktif ke area jaringan transmisi yang membutuhkan.






Gambar 14. Trafo penggeser fasa untuk mengontrol daya aktif

2.3 Peralatan Kerja dan Material untuk Melaksanakan Analisa Operasi Sistem

Beberapa Alat kerja yang dibutuhkan dalam pekerjaan melaksanakan analisa operasi sistem seperti dalam Tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Alat kerja dalam melaksanakan analisa operasi sistem

No	Nama Alat	Ilustrasi
1	Tang set	
2	Multimeter	
3	Obeng set	

3. Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem

Dalam kegiatan pemeriksaan analisa operasi sistem, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

- Aspek Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) yaitu penggunaan APD, keamanan cara kerja dan lingkungan kerja
- Ketepatan alat kerja dan peralatan yang digunakan
- Ketepatan rangkaian dengan gambar
- Kesesuaian dengan langkah kerja
- Penggunaan bahan/material kerja
- Dasar analisa dapat berupa manual book, atau perhitungan
- Laporan pekerjaan



Pelaksanaan analisa operasi sistem transmisi dapat dilakukan secara simulasi dalam workshop menggunakan komponen yang dirakit dari daftar alat dan komponen di subjudul sebelumnya. Untuk mensimulasikan, dengan memberikan tegangan Sumber AC dialirkan ke rangkaian ekivalen saluran transmisi hingga ke beban yang diatur 50% dari maksimumnya. Kemudian diukur tegangan dari sumber (ES) untuk dibandingkan dengan tegangan di sisi beban/penerima (ER) menggunakan voltmeter. Perbandingan ES dengan ER dapat dinyatakan dalam persentase seperti pada sub judul sebelumnya, sehingga bisa ditentukan berapa toleransi regulasi tegangan yang masih diijinkan sehingga tidak mengaktifkan SSC.



Jika $ER < ES$ melebihi toleransi yang ditentukan, maka kompensasi yang diinjeksikan adalah reaktansi kapasitif dari kapasitor, dengan cara menyalakan saklar ke kapasitor hingga ER menyamai ES . Banyaknya kapasitor yang diaktifkan bergantung dari jatuhnya ER terhadap ES . Semakin rendah ER , kapasitor yang diaktifkan harus semakin banyak.

Umumnya, semakin meningkat beban (dengan menaikkan variabel resistor), ER akan semakin turun sehingga membutuhkan kompensator kapasitif. Kondisi lain yang menimbulkan $ER < ES$, adalah beban bersifat sangat induktif. Meskipun saluran transmisi yang panjang bersifat kapasitif sehingga dapat mengkompensasi induktif beban, beban bisa jadi masih sangat induktif menyebabkan $ER < ES$.

Sebaliknya, ketika semakin turun beban, maka ER akan lebih tinggi dari ES sehingga kapasitor dimatikan untuk mengembalikan ER mendekati ES . Transmisi yang panjang cenderung memunculkan kapasitansi dalam saluran yang menyebabkan $ER > ES$. Hal ini dikompensasi dengan menyalakan sakelar induktor agar ER turun menyamai ES . Banyaknya induktor yang dinyalakan tergantung dari seberapa jauh kenaikan ER .

Seiring perkembangan teknologi dan untuk mempermudah analisa operasi sebuah jaringan transmisi, pabrikan menyediakan modul untuk sistem transmisi seperti tabel di bawah :

No	Nama Perangkat	Gambar	Keterangan
1	Modul Transmission Line		3 fasa 4 kawat, V_{LL} 380V, 1 Ampere, 50 Hz
2	Modul RLC		3 Fasa switched 50 Hz, V_{LN} 220 V Resistor load 630 Ω - 4400 Ω Inductive load 3,5 Henry – 14 Henry Capacitive load

No	Nama Perangkat	Gambar	Keterangan
3	Modul Data Acquisition & Control Interface (DACI)		Voltage probe up to 600V Current probe up to 40 A
4	Modul variable power supply		AC 0 – 380 V, 5A DC 200V 5A



Gambar 15. Keseluruhan rangkaian simulator transmisi listrik

Setelah rangkaian dijalankan, kemudian diamati hasilnya apakah kompensasi tegangan menggunakan SSC berjalan sesuai tujuan, yaitu menjaga tegangan penerima mendekati tegangan pengirim.

3.1 Dasar Penerapan Mekanika Transformator

Penerapan mekanika pada transformator didasarkan pada prinsip dasar elektromagnetisme, khususnya hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik dan hukum Lenz. Berikut adalah dasar-dasar penerapan mekanika transformator:

a. Hukum Faraday

Ketika fluks magnetik yang melewati kumparan berubah, ia menginduksi gaya gerak listrik (ggl) dalam kumparan tersebut. Ketika arus bolak-balik mengalir melalui kumparan primer, ia menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah dalam inti besi, yang kemudian menginduksi ggl dalam kumparan sekunder.

b. Hukum Lenz

Hukum Lenz menyatakan bahwa arah ggl yang diinduksi akan sedemikian rupa sehingga menentang perubahan fluks magnetik yang menyebabkannya. Ini berarti bahwa arus yang dihasilkan di kumparan sekunder memiliki polaritas yang berlawanan dengan perubahan fluks magnetik pada kumparan primer, menjaga keseimbangan energi dalam sistem.

c. Rasio Transformasi

Rasio antara jumlah lilitan pada kumparan primer dan kumparan sekunder menentukan rasio transformasi. Misalnya, jika kumparan primer memiliki 100 lilitan dan kumparan sekunder memiliki 200 lilitan, transformator tersebut akan meningkatkan tegangan dengan rasio 1:2. Hal ini dikenal sebagai transformator step-up. Sebaliknya, jika kumparan sekunder memiliki lebih sedikit lilitan daripada kumparan primer, ini disebut transformator step-down.

d. Efisiensi Transformator

Transformator ideal diasumsikan memiliki efisiensi 100%, artinya semua energi yang masuk ke kumparan primer ditransfer ke kumparan sekunder. Namun, dalam kenyataannya, terdapat beberapa kerugian seperti kerugian tembaga (dissipasi energi dalam bentuk panas karena resistansi lilitan), kerugian histeresis (karena perubahan fluks magnetik dalam inti), dan kerugian arus eddy (arus pusar dalam inti besi yang mengakibatkan panas). Oleh karena itu, desain transformator yang efisien sangat penting untuk meminimalkan kerugian ini.

3.2 Fenomena arus hubung singkat

Arus hubung singkat (short circuit current) adalah kondisi di mana terjadi aliran arus listrik yang sangat besar karena resistansi atau impedansi yang sangat rendah di dalam sirkuit. Arus hubung singkat dapat terjadi ketika dua titik dalam sirkuit yang seharusnya tidak terhubung secara langsung menjadi terhubung dengan resistansi yang sangat kecil atau bahkan nol, seperti saat konduktor yang berbeda menyentuh atau saat isolasi kabel rusak. Beberapa dampak Arus Hubung Singkat adalah kerusakan peralatan, kebakaran, kegagalan Sistem Listrik akibat pemadaman, serta cedera fisik berupa luka bakar pada orang yang berinteraksi dengan peralatan atau kabel yang terpengaruh.

3.3 Gaya aksial dan radial pada kumparan trafo

Gaya-gaya ini harus diperhitungkan dalam desain transformator karena dapat menyebabkan deformasi fisik dan kerusakan pada kumparan.

Gaya radial adalah gaya yang bekerja ke arah radial, atau tegak lurus terhadap sumbu kumparan. Gaya ini menarik atau mendorong lilitan kumparan menuju atau menjauh dari inti besi transformator. Gaya radial muncul sebagai akibat dari tekanan magnetik (magnetic pressure) ketika medan magnet di dalam kumparan berinteraksi dengan arus yang mengalir melaluinya. Dalam transformator, ketika arus mengalir melalui kumparan, ia menciptakan medan magnet yang menghasilkan tekanan di sekitar konduktor.

Gaya radial yang tinggi dapat menyebabkan deformasi fisik pada kumparan, seperti penyempitan atau pembengkakan kumparan. Ini bisa menyebabkan kerusakan insulasi dan bahkan kegagalan kumparan jika gaya tersebut cukup besar.

Gaya radial yang tidak terkontrol dapat menyebabkan keruntuhan struktur kumparan, yang sangat berbahaya bagi keandalan dan keselamatan operasional transformator.

Gaya Aksial adalah gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu kumparan, baik menarik atau mendorong kumparan sepanjang sumbu tersebut. Gaya aksial terutama dihasilkan oleh perbedaan arus di sepanjang kumparan atau distribusi medan magnet yang tidak merata. Dalam transformator, arus magnetisasi dan arus beban di kumparan primer dan sekunder dapat menciptakan medan magnet yang berinteraksi satu sama lain, menghasilkan gaya aksial. Selain itu, gaya aksial bisa diakibatkan oleh arus hubung singkat di sirkuit sekunder, yang menciptakan medan magnet kuat yang berinteraksi dengan arus di kumparan primer, menghasilkan gaya aksial yang besar.

Gaya aksial yang besar dapat menyebabkan kumparan bergerak, yang dapat menyebabkan gesekan, kerusakan insulasi, dan keausan material.

Gaya aksial juga bisa menyebabkan kumparan bergeser keluar dari posisinya, menyebabkan ketidakseimbangan magnetik dalam transformator, yang dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi transformator secara keseluruhan.

3.4 Pengaruh temperatur terhadap kapasitas trafo

Dalam transformator, peningkatan suhu terutama disebabkan oleh kerugian yang terjadi selama operasi, seperti kerugian tembaga (I^2R losses) dan kerugian inti (core losses). Kerugian ini menghasilkan panas, yang perlu dikelola dengan baik untuk menjaga transformator beroperasi dalam batas suhu yang aman.

Berikut adalah beberapa cara temperatur mempengaruhi kapasitas dan kinerja transformator:

- Peningkatan Resistansi dan Kerugian Tembaga
- Kerugian Isolasi dan Degradasi
- Efisiensi dan Kehilangan Energi

4. Membuat laporan pekerjaan

Laporan adalah metoda untuk pekerja agar selalu mendokumentasikan setiap pekerjaan dan menginformasikan kepada atasan. Selain itu sebagai sarana untuk penilaian kinerja untuk pekerja. Maka

pembuatan laporan tersebut sudah menjadi prosedur wajib dalam SOP yang harus dilakukan setiap akhir pekerjaan.

4.1 Format laporan pekerjaan analisa operasi sistem

Secara umum, laporan teknis dalam analisa operasi sistem dapat memuat:

- Pelaksana
- Lokasi pekerjaan
- Tanggal mulai pekerjaan
- Tanggal selesai pekerjaan
- Hasil pengukuran
- Analisa operasi
- Kesimpulan
- Dokumentasi
- Rekomendasi perbaikan: Rekomendasi atau saran untuk perbaikan atau tindakan yang perlu diambil berdasarkan hasil analisa.

Contoh format laporan analisa operasi sistem adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Contoh laporan analisa operasi sistem

Laporan Analisa Operasi Sistem	
Nama pekerjaan :	
No. pekerjaan :	
Lokasi :	
Tanggal pekerjaan : s.d	
Temuan	
Acuan/standar	
Rekomendasi perbaikan	
Kesesuaian rekomendasi terhadap standar/acuan	
Hasil analisa	
Kesimpulan	
Tanggal :	
Mengetahui, Asisten Manajer	Supervisor
(.....)	(.....)

Laporan tersebut harus ditandatangani sebagai bentuk keabsahan dan tanggung jawab si pembuat laporan.

4.2 Tata cara pembuatan dan penyimpanan dokumen berita acara

Berita acara adalah dokumen resmi yang digunakan untuk mencatat jalannya suatu kegiatan, peristiwa, atau transaksi. Dokumen ini sering digunakan dalam berbagai konteks seperti rapat, penyerahan barang, serah terima pekerjaan, insiden, dan lain-lain. Tata cara pembuatan dan penyimpanan dokumen berita acara harus dilakukan dengan cermat agar informasi yang dicatat akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Penyimpanan Fisik berita acara dapat disusun berdasarkan kategori jenisnya (misalnya, berita acara rapat, serah terima, kejadian, dll.) dan urutkan berdasarkan tanggal atau nomor dokumen.

Tempat penyimpanan yang umum digunakan adalah filing cabinet atau folder yang tahan lama untuk menyimpan dokumen-dokumen fisik. Setiap folder atau sekat dalam filing cabinet dapat diberi label untuk memudahkan pencarian.

Jika berita acara perlu disimpan dalam jangka waktu lama, dapat dipertimbangkan untuk menyimpan dokumen dalam arsip resmi yang memiliki kontrol suhu dan kelembaban untuk menjaga kualitas kertas.

Sedangkan untuk Penyimpanan Digital berita acara, perlu untuk memindai Dokumen berita acara fisik untuk membuat salinan digital yang pindaianya jelas dan dapat terbaca dengan baik.

Untuk Format Penyimpanannya dalam format yang umum digunakan seperti PDF untuk menjaga konsistensi format dan mencegah modifikasi yang tidak disengaja. Lalu tempat penyimpanannya bisa dengan cara membuat folder di komputer atau server yang diatur dengan baik berdasarkan jenis berita acara, tahun, atau kategori lainnya yang relevan.

5. Evaluasi Pengetahuan

Instruksi Evaluasi Pengetahuan:

- a. Soal evaluasi teori disusun oleh instruktur.
- b. Metode evaluasi ditentukan oleh instruktur
- c. Jawaban evaluasi harus diserahkan sesuai dengan batas waktu yang dicantumkan.
- d. Evaluasi teori dibuat secara tertulis dalam file *word-processed* sesuai dengan elemen unit kompetensi yang diuji.
- e. Plagiarisme adalah mengkopi pekerjaan seseorang dan mengakui tugas itu adalah tugas anda. Setiap kegiatan plagiarisme akan mendapatkan hasil dengan nilai nol
- f. Bobot maksimal penilaian untuk evaluasi pengetahuan adalah 30% dari dari keseluruhan penilaian di unit ini
- g. Materi evaluasi yang akan diujikan merujuk kepada pengetahuan yang dibutuhkan dan tertulis pada unit kompetensi di standar kompetensi, yaitu :
 - 1) Merencanakan dan menyiapkan pelaksanaan analisa operasi sistem
 - 2) Melaksanakan analisa operasi sistem
 - 3) Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem
 - 4) Membuat laporan pekerjaan

E. KETERAMPILAN DAN SIKAP KERJA

1. Lembar Instruksi Kerja (LIK)_1

a. Informasi Umum

Unit Kompetensi	: Melaksanakan analisa operasi sistem
Kode Unit	: D.35.124.00.015.1
Nama LIK	: Menganalisa kompensasi tegangan saluran transmisi menggunakan metode <i>Switched Shunt Compensator (SSC)</i>
No. LIK	: 1/1
Waktu	: 90 menit

Petunjuk:

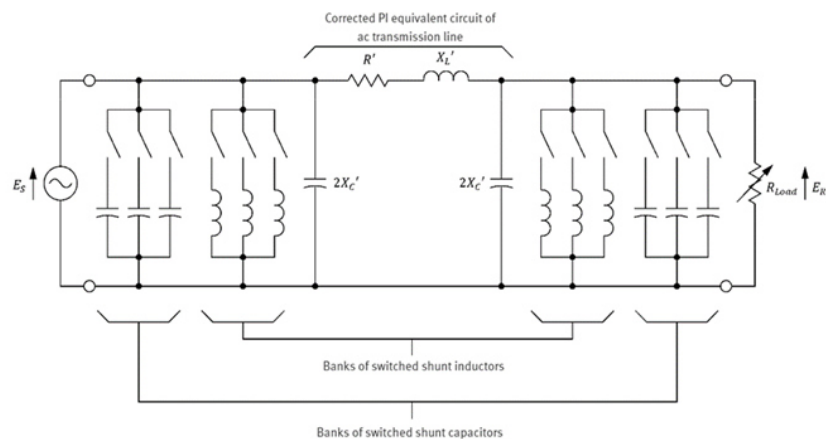
- 1) Baca dan pelajari setiap langkah/instruksi kerja dibawah ini dengan cermat sebelum melaksanakan praktek.
- 2) Laksanakan pekerjaan sesuai dengan urutan proses yang sudah ditetapkan.
- 3) Seluruh proses kerja mengacu kepada SOP/WI/IK yang dipersyaratkan.
- 4) Waktu pengerjaan yang disediakan 90 menit

b. Soal Praktik

1) Skenario

Sebagai supervisor pengoperasian sistem transmisi, anda diminta untuk menganalisa regulasi tegangan dengan metode *Switched Shunt Compensator* (SSC) sesuai Prosedur / SOP. Terdapat kasus pada saluran udara tegangan tinggi dimana tegangan penerima ER berada di bawah ES saat berbeban maupun tanpa beban. Setelah dianalisa anda memutuskan pengoperasian SSC perangkat induktor atau kapasitor mana yang dimasukkan ke saluran.

2) Gambar Kerja



3) Langkah Kerja

- a) Merencanakan dan menyiapkan analisa operasi sistem
- b) Memasang rangkaian sesuai gambar
- c) Mengoperasikan rangkaian sumber
- d) Melaksanakan analisa operasi sistem
- e) Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem
- f) Membuat laporan pekerjaan

4) Bahan Praktik

No.	Nama Barang	Spesifikasi	Jumlah
1	Kertas	HVS A4	1 lembar
2	Alat tulis	Ballpoint, Stipo, Mistar	1 set
3	Resistor variabel	10 ohm, 25W	1 buah
4	Resistor	200 ohm, 20W	1 buah
5	Induktor	37 μ H, 1A	7 buah
6	Kapasitor	Non polar, 22 μ F, 50V	10 buah
7	Sakelar togel	3 pin	12 buah
8	Kabel	0,75 mm ²	secukupnya

5) Peralatan Praktik

- 1) Peralatan K2 (Helm, sarung tangan, kaca mata)
- 2) Tang set
- 3) Obeng set
- 4) 1 Phase AC Regulated Power Supply
- 5) Voltmeter AC
- 6) Project board

c. Penilaian Praktik

1) Lembar Cek Observasi

PROSEDUR/LANGKAH KERJA	ACUAN PEMBANDING	PENILAIAN	
		K	BK
1. Merencanakan dan menyiapkan melaksanakan analisa operasi sistem			
1.1 Menggambar teknik instalasi tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi dan sesuai <i>Standing Operation Procedure</i> (SOP).	SOP Perusahaan		
1.2 Menyusun rencana kerja agar pekerjaan dapat diselesaikan sesuai jadwal yang ditetapkan dengan cermat dan teliti.	SOP Perusahaan		
1.3 Menghubungi personil berwenang untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan sesuai	SOP Perusahaan		

PROSEDUR/LANGKAH KERJA	ACUAN PEMBANDING	PENILAIAN	
		K	BK
Struktur Organisasi Unit Kerja yang berlaku.			
1.4 Menyiapkan alat kerja, alat Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan alat bantu sesuai keperluan dan standar melaksanakan analisa operasi sistem yang ditetapkan perusahaan.	SOP Perusahaan		
1.5 Memeriksa perintah yang diterima untuk memastikan bahwa instruksi dapat dilaksanakan sesuai standar perusahaan.	SOP Perusahaan		
1.6 Memahami Prosedur dan peraturan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) sesuai standar yang berlaku.	SOP Perusahaan		
2. Melaksanakan analisa operasi sistem			
2.1 Memasang Peralatan Bantu sesuai Standing Operation Procedure (SOP)	Standar perusahaan		
2.2 Melakukan orientasi lapangan pada instalasi GI dan GITET dengan cermat dan disiplin.	SOP Perusahaan		
2.3 Mengukur resistansi pentanahan, winding resistance, insulation resistance, ratio winding, disipasi faktor, burden CT, knee point dll pada kumparan dan transformator arus dan tegangan dengan teliti dan cermat.	SOP Perusahaan		
2.4 Mengukur medan listrik di instalasi GI dan GITET dengan teliti dan cermat.			

PROSEDUR/LANGKAH KERJA	ACUAN PEMBANDING	PENILAIAN	
		K	BK
3. Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem			
3.1 Melakukan pemeriksaan dan pengujian jaringan transmisi dengan cermat dan teliti.	SOP Perusahaan		
3.2 Melakukan perbandingan analisa operasi sistem dengan target yang telah ditentukan.	Standar perusahaan		
4. Membuat laporan pekerjaan			
4.1 Membuat laporan pekerjaan sesuai dengan format dan prosedur yang ditentukan dengan teliti dan disiplin.	SOP Perusahaan		
4.2 Membuat berita acara pekerjaan analisa operasi system dengan cermat dan teliti.	SOP Perusahaan		

2) Lembar Cek Hasil

No.	ASPEK YANG DINILAI	STANDAR KEBERTERIMAAN	CEKLIS	
			K	BK
1.	Kesesuaian rencana kerja	SOP Perusahaan		
2.	Kesesuaian alat kerja, alat K2, dan peralatan bantu	SOP Perusahaan		
3.	Kesesuaian prosedur kerja	SOP Perusahaan		
4.	Kesesuaian pemasangan peralatan bantu	SOP Perusahaan		
5.	Kesesuaian pengawasan operasi sistem transmisi	SOP Perusahaan		
6.	Kesesuaian analisa operasi sistem terhadap target	SOP Perusahaan		
7.	Laporan dan berita acara	Format perusahaan		

2. Evaluasi Praktik

Instruksi Evaluasi Praktik:

- a. Soal evaluasi praktik disusun oleh instruktur.
- b. Metode evaluasi ditentukan oleh instruktur
- c. Evaluasi praktik harus diserahkan sesuai dengan batas waktu yang dicantumkan.
- d. Evaluasi praktik dibuat secara tertulis dalam file word-processed sesuai dengan elemen unit kompetensi yang diuji.
- e. Plagiarisme adalah mengkopi pekerjaan seseorang dan mengakui tugas itu adalah tugas anda. Setiap kegiatan plagiarisme akan mendapatkan hasil dengan nilai nol.
- f. Bobot maksimal penilaian untuk evaluasi praktik adalah 70% dari dari keseluruhan penilaian di unit ini.
- g. Materi evaluasi yang akan diujikan merujuk kepada keterampilan dan sikap yang dibutuhkan dan tertulis pada unit kompetensi di standar kompetensi, yaitu :
 - 1) Merencanakan dan menyiapkan pelaksanaan analisa operasi sistem
 - 2) Melaksanakan analisa operasi sistem
 - 3) Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem
 - 4) Membuat laporan pekerjaan

F. EVALUASI PERSONAL

(Form Evaluasi Personal sesuai lampiran Keputusan Direktur Jendral Pembinaan Pelatihan Vokasi dan Produktivitas Nomor 2/771/HK.5/III/2023 tentang Pedoman Penyusunan Program Dan Materi Pelatihan Berbasis Kompetensi)

G. LAMPIRAN

1. Kamus Istilah

a.	Kompensasi tegangan	Metode mengatur tegangan dengan cara mengatur daya reaktif dalam saluran transmisi
b.	Switched Shunt Compensator (SSC)	Peralatan yang terdiri dari kapasitor bank dan induktor bank yang disambungkan ke

		dalam saluran transmisi menggunakan pemutus bertujuan untuk menaikkan dan menurunkan daya reaktif
c.	Reaktansi	Perlawanan komponen sirkuit/rangkaian atas perubahan arus listrik atau tegangan listrik karena adanya kapasitansi atau induktansi, dinyatakan dalam Ω
d.	Impedansi	Ukuran penolakan terhadap arus bolak-balik sinusoid. Impedansi listrik memperluas konsep resistansi listrik ke sirkuit AC, menjelaskan tidak hanya amplitudo relatif dari tegangan dan arus, tetapi juga fase relatif, dinyatakan dalam Ω
e.	LVDAC-EMS	Perangkat lunak yang menampilkan semua parameter kelistrikan dalam bentuk angka, grafik, maupun chart serta melihat tren dalam kurun waktu tertentu.

2. Referensi

a.	Bahan ajar Transmisi Tenaga Listrik SMK
b.	Bahan ajar AC Transmission Lines Festo Didactic

3. Unit Kompetensi

KODE UNIT : D.35.124.00.015.1
 JUDUL UNIT : Melaksanakan analisa operasi sistem.
 DESKRIPSI UNIT : Unit kompetensi ini berkaitan dengan penerapan prosedur pelaksanaan dan pemantauan yang diperlukan untuk melaksanakan analisa operasi sistem, sesuai *instruction manual* dan SOP yang berlaku.

ELEMEN KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KERJA
1. Merencanakan dan menyiapkan melaksanakan analisa operasi sistem	1.1 Gambar teknik instalasi tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi dan alat bantu nya dipelajari sesuai <i>Standing Operation Procedure</i> (SOP). 1.2 Rencana kerja disusun agar pekerjaan dapat diselesaikan sesuai jadwal yang ditetapkan 1.3 Personil berwenang dihubungi untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan sesuai Struktur Organisasi Unit Kerja yang berlaku.

ELEMEN KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KERJA
	<p>1.4 Alat kerja, alat Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan alat bantu disiapkan sesuai keperluan dan standar melaksanakan analisa operasi sistem yang ditetapkan perusahaan</p> <p>1.5 Perintah yang diterima diperiksa untuk memastikan bahwa instruksi dapat dilaksanakan sesuai standar perusahaan</p> <p>1.6 Prosedur dan peraturan Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dipahami sesuai standar yang berlaku.</p>
2. Melaksanakan melaksanakan analisa operasi sistem	<p>2.1 Peralatan Bantu dipasang sesuai Standing Operation Procedure (SOP) melaksanakan analisa operasi system</p> <p>2.2 Melaksanakan pengawasan operasi system</p> <p>2.3 Melaksanakan pengawasan rencana operasi harian.</p>
3. Memeriksa pelaksanaan analisa operasi sistem	<p>3.1 Melaksanakan analisa operasi sistem.</p> <p>3.2 Hasil melaksanakan analisa operasi system dibandingkan dengan target yang telah ditentukan.</p>
4. Membuat laporan pekerjaan	<p>4.1 Laporan pekerjaan dibuat sesuai dengan format dan prosedur yang ditetapkan perusahaan.</p> <p>4.2 Berita acara pekerjaan dibuat sesuai prosedur yang ditetapkan perusahaan.</p>

BATASAN VARIABEL

1. Konteks Variabel

- 1.1 Standing Operation Procedure (SOP) adalah tata cara/prosedur yang dimiliki oleh perusahaan dalam melaksanakan analisa operasi sistem yang sesuai dengan peraturan dan standar mutu yang berlaku
- 1.2 Tegangan Tinggi adalah tegangan yang mempunyai nilai antara 6 kV sampai dengan 500 kV.

2. Peralatan dan Perlengkapan

2.1 Peralatan

- 4.2.1 Peralatan utama: laptop, software pengoperasian pembangkit

2.2 Perlengkapan dan material

3. Peraturan yang diperlukan

- 3.1 Undang-Undang 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan
- 3.2 Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012
- 3.3 Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2012
- 3.4 Peraturan Menteri ESDM Nomor 46 Tahun 2017 tentang Standardisasi Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan
- 3.5 Peraturan yang berlaku di perusahaan

4. Norma dan Standar

- 4.1 Norma
 - 4.1.1 Partisipatif
- 4.2 Standar
 - 4.2.1 Standing Operation Procedure (SOP) melaksanakan analisa operasi sistem harian yang ditetapkan perusahaan
 - 4.2.2 SOP komunikasi melaksanakan analisa operasi sistem yang ditetapkan perusahaan
 - 4.2.3 SOP Persyaratan melaksanakan analisa operasi sistem
 - 4.2.4 SOP Pelaksanaan melaksanakan analisa operasi system Instruksi Kerja pekerjaan melaksanakan analisa operasi sistem

Panduan Penilaian

1. Konteks Penilaian

- 1.1 Kompetensi yang berkaitan dengan keterampilan dan sikap kerja, harus diujikan ditempat kerja atau ditempat lain secara simulasi dengan kondisi kerja sesuai dengan keadaan normal
- 1.2 Kompetensi yang berkaitan dengan pengetahuan, diujikan secara tertulis, lisan dan observasi lapangan

2. Persyaratan Kompetensi

- 4.3 Melaksanakan ketentuan mengenai Keselamatan Ketenagalistrikan (K2)
- 4.4 Menggunakan peralatan/perkakas kerja hand tools untuk melaksanakan analisa operasi sistem
- 4.5 Menginterpretasikan gambar teknik

3. Pengetahuan dan Keterampilan Yang Diperlukan

- 3.1 Pengetahuan
 - 3.1.1 Bahan Listrik
 - 1.1.1.1 Konduktor
 - 1.1.1.2 Isolator
 - 3.1.2 Alat Ukur dan Pengukuran Besaran Listrik
 - 1.1.2.1 Macam alat ukur listrik
 - 1.1.2.2 Fungsi dan prinsip kerja alat ukur listrik
 - 1.1.2.3 Penggunaan alat ukur listrik
 - 3.1.3 Teori Dasar Listrik
 - 1.1.3.1 Arus bolak balik fase satu

- 1.1.3.2 Arus bolak balik fase tiga
 - 1.1.3.3 Hukum Ohm
 - 1.1.3.4 Hukum Kirchoff I
 - 1.1.3.5 Rangkaian Resistansi, Induktansi, Kapasitansi dan Impedansi
 - 3.1.4 Jaringan transmisi tegangan Tinggi
 - 3.1.4.1 Konstruksi instalasi gardu induk
 - 3.1.4.2 Peralatan / Komponen instalasi gardu induk
 - 3.1.4.3 Peralatan Kerja dan material untuk melaksanakan analisa operasi sistem
 - 3.1.5 Mekanika transformator
 - 3.1.5.1 Dasar penerapan
 - 3.1.5.2 Fenomena Arus hubung singkat
 - 3.1.5.3 Tingkat besar arus Hubung Singkat
 - 3.1.5.4 Gaya aksial dan radial pada kumparan trafo
 - 3.1.5.5 Pengaruh temperatur terhadap kapasitas trafo.
 - 3.1.6 Prosedur Keselamatan Ketenagalistrikan (K2)
 - 3.1.6.1 Peraturan K2
 - 3.1.6.2 Prosedur K2 pada melaksanakan analisa operasi sistem
- 3.2 Keterampilan
 - 3.2.1 Dasar operasi dan pemeriksaan dan pengujian jaringan Transmisi
 - 3.2.2 Orientasi lapangan pada instalasi GI dan GITET
 - 3.2.3 Mengukur resistansi pentanahan, winding resistansi, insulasi resistansi, ratio winding, dissipasi faktor, burden CT, knee point dll pada kumparan dan transformator arus dan tegangan
 - 3.2.4 Mengukur medan listrik di instalasi GI dan GITET
- 4. Sikap Kerja Yang Diperlukan
 - 4.1 Teliti
 - 4.2 Cermat
 - 4.3 Disiplin
- 5. Aspek Kritis
 - 5.1 Aspek Kritis yang harus dicapai dengan memperagakan prosedur kerja dan kriteria kerja yang konsisten untuk masing – masing sub kompetensi dari unit melalui penerapan secara umum dan mandiri sesuai persyaratan perusahaan

NAMA PENYUSUN

No.	Nama	Profesi
	Hilman Rifaldillah	Training Development, PT. Denso Indonesia
	Faranta Wahyu Ekasetya, S.Tr.T	<ul style="list-style-type: none"> • Instruktur Kejuruan Listrik BBPVP Serang • Asesor LSP P2 BBPVP Serang