

BAB II

TINJAUAN PUSTAKAN DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Andi Sofyan (2017) meneliti tentang “Evaluasi Sistem Kelistrikan Pada Gedung Bertingkat Plaza Andalas Padang”. Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut: memberikan informasi tentang tahanan setiap saluran group pada gedung Plaza Andalas, memberikan informasi jumlah kerugian daya, menghitung pemakaian daya listrik dan memberikan informasi tentang luas penampang kawat yang terpasang pada instalasi listrik pada gedung Plaza Andalas. Pada penelitian ini menyimpulkan bahwa besarnya kVA yang harus terpasang untuk melayani beban adalah 1306,69 kVA, untuk kebutuhan seluruh daya di Plaza Andalas adalah sebesar 959,8 kW, yang terpakai pada saat ini 887,3 kW, rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran instalasi listrik digedung tersebut sebesar 0.0696881639 watt dengan jumlah tahanan saluran kabel keseluruhan panel distribusi sebesar 0,0000338695 ohm. Untuk mengoptimisasi rugi-rugi daya pada saluran instalasi pada gedung Plaza Andalas ini penentuan jenis kabel dan kemampuan hantar arus sangat penting diperhatikan.

Nolki (2015) meneliti tentang “Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu”. Analisa pada penulisan tugas akhir ini adalah mencakup sejauh mana besar jatuh tegangan di daerah Rayon Kota Palu, mengingat penyulang yang tersebar merupakan penyulang lama. Arus yang mengalir pada netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo penyaluran energi listrik pada sistem distribusi dimana susut tegangan akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen dimana jika terjadi susut tegangan pada sistem distribusi maka energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen akan menjadi tidak standar lagi sesuai dengan SPLN no. 72 tahun 1987. berdasarkan data tahunan dari 2009 sampai 2013.

Yoga (2016) meneliti tentang “Evaluasi Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Gardu Induk (Gi) 150 Kv Kota Baru Akibat Perubahan Resistivitas Tanah”. Data untuk melakukan perhitungan diperoleh dari UPK (Unit Pelaksana Konstruksi) yaitu selaku pelaksana pembangunan Gardu Induk 150 kV Kota Baru Pontianak Skripsi ini meneliti tegangan sentuh dan tegangan langkah pada Gardu Induk (GI) 150 kV Kota Baru sebagai akibat dari perubahan resistivitas tanah.

Dari hasil yang didapat dengan melakukan perhitungan manual untuk tegangan sentuh maksimum sebenarnya diperoleh hasil 262 volt dan tegangan langkah sebenarnya dengan nilai 223 volt. Melihat nilai dari perbandingan diatas maka desain pentanahan Gardu Induk 150 kV Kota Baru Pontianak memenuhi persyaratan, dikarenakan tidak melebihi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan yaitu 270 volt untuk tegangan sentuh yang diizinkan dan 972 volt untuk tegangan langkah yang diizinkan.

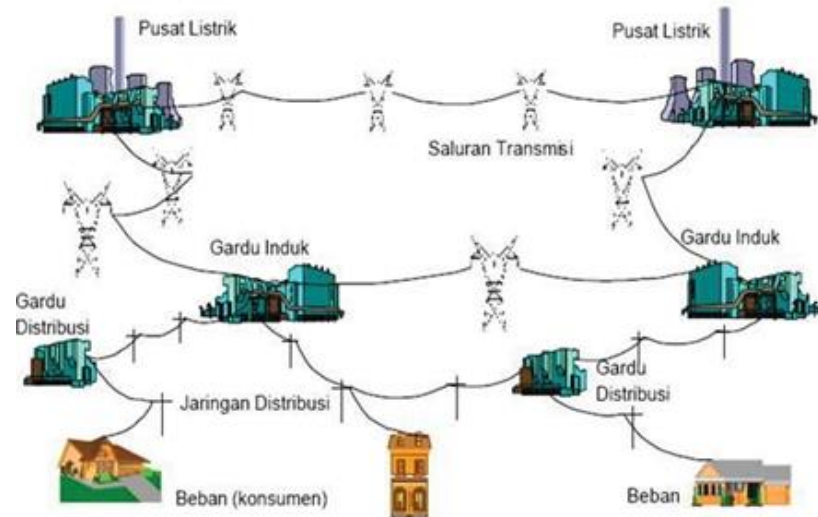
Sthebanus (2006) meneliti tentang “Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik dan Andongan pada Sutet 500 KV di Zona Krian”. Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) yang memiliki batas temperatur kerja yang diizinkan sebesar 90°C. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perubahan arus saluran dari 10 Ampere menjadi 850 Ampere mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur konduktor sebesar 125.94 % dan penurunan tegangan tarik sebesar 36.38 % serta terjadi peningkatan pada andongan sebesar 26.82 %.

2.2. Dasar Teori

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Dalam kelistrikan, sering kali timbul persoalan-persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang

jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat.



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Listrik

Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan Gardu Induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi dikatakan sebagai saluran transmisi tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Di lingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 kV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 kV dimana SUTT 150 kV lebih banyak digunakan daripada SUTT 70 kV. Khusus untuk tegangan 500 kV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi, yang disingkat dengan SUTET.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 kV.

Jaringan tegangan primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disingkat JTM dan sekarang salurannya masing-masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (step down) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standard 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standard tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi dilingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.

Dalam proses bisnis PLN pelanggan – pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar, aturannya tidak disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan pelanggan yang menggunakan sambungan daya yang sangat besar disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya tersambung. Dalam praktek karena luasnya jaringan distribusi sehingga diperlukan banyak sekali transformator distribusi, maka Gardu Distribusi seringkai disederhanakan menjadi transformator tiang/Gardu Trafo Tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana.

B. Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik merupakan sebuah konsep pada system tenaga listrik yang berkaitan dengan mutu daya yang ada pada sistem. Kualitas daya listrik memberikan konsep mengenai baik atau buruknya kualitas pada tegangan, arus, dan frekuensi listrik. Ketiga hal tersebut merupakan parameter yang harus dipenuhi sebagai standar acuan yang ada. Jika parameter tersebut tidak memenuhi standar, maka kualitas daya akan terganggu, sehingga dapat menimbulkan gangguan dan kerusakan pada peralatan listrik di sisi penyuplai maupun konsumen, selain itu juga dapat membahayakan terhadap keselamatan manusia.

Dalam kualitas daya listrik ada beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur baik atau buruknya suatu daya yang disuplai pada suatu system tenaga listrik, yaitu:

- 1) Dapat memenuhi beban puncak.
- 2) Memiliki urutan fase yang benar.
- 3) Memiliki jaminan tegangan yang seimbang.
- 4) Memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum
- 5) Menjamin distorsi gelombang tegangan dan distorsi harmonic yang minimal.
- 6) Memberikan suplai daya yang memiliki keandalan tinggi dengan persentase pelayanan yang tinggi dimana beban dapat melayani secara efektif.

C. Arus Listrik

Arus listrik merupakan banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Arus listrik dapat terjadi karena adanya aliran electron dimana tiap electron mempunyai muatan yang besarnya sama. Jika kita mempunyai benda bermuatan negatif berarti benda tersebut mempunyai kelebihan elektron dan sebaliknya jika kita memiliki benda bermuatan positif berarti benda tersebut kekurangan elektron. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada. Muatan sebuah elektron sering dinyatakan dengan simbol q atau e , dinyatakan dengan satuan coulomb.

Pada dasarnya dalam kawat penghantar terdapat aliran elektron dalam jumlah yang sangat besar, jika jumlah elektron yang bergerak ke kanan dan ke kiri sama besar maka seolah-olah tidak terjadi apa-apa. Akan tetapi jika ujung sebelah kanan kawat menarik elektro sedangkan ujung sebelah kiri melepaskannya maka akan terjadi aliran elektron ke kanan (tetapi dalam hal ini disepakati bahwa arah arus bergerak berlawanan, yakni ke kiri). Aliran elektron ini yang selanjutnya disebut aliran listrik.

Arus listrik dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

- 1) Arus searah (Direct Current / DC), yaitu arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu.
- 2) Arus bolak-balik (Alternating Current / AC), yaitu arus yang mempunyai nilai berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk periode waktu tertentu.

D. Tegangan Listrik

Tegangan adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (sebesar satu colomb) pada elemen dari satu terminal/kutub ke terminal/kutub lainnya. Atau dengan pengertian lain tegangan merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Kerja yang dilakukan adalah energi yang dikeluarkan, sehingga pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan.

Terdapat dua cara memandang beda potensial, yaitu :

- 1) Tegangan turun/voltage drop

Jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah.

- 2) Tegangan naik/voltage rise

Jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi.

E. Daya

Daya Listrik atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Electrical Power yaitu jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Sumber Energi seperti Tegangan listrik akan menghasilkan sebuah daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut.

Daya listrik merupakan tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Semakin tinggi nilai Watt-nya akan semakin tinggi juga daya listrik yang dikonsumsinya. Sedangkan berdasarkan pada konsep usaha, yang dimaksud dengan daya listrik yaitu besarnya usaha dalam memindahkan muatan per satuan waktu atau lebih singkatnya yaitu Jumlah Energi Listrik yang digunakan tiap detik.

Susut energi sangat berpengaruh besar terhadap faktor ekonomis. Rugi-rugi energi dapat berarti pemborosan biaya produksi listrik. Penyaluran energi listrik ini harus diusahakan seefisien mungkin sehingga akan mengurangi biaya produksi energi listrik yang disalurkan. Susut energi juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti jauhnya daerah penyaluran tenaga listrik dari

sumber atau suplai, voltage drop, ketidak seimbangan beban, umur peralatan, diameter penghantar dan lain-lain. Bila susut terlalu besar, sistem penyaluran energi listrik menjadi tidak efisien.

Loss situation didalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah suatu kondisi suatu sistem distribusi didalam pendistribusian tenaga listriknya mengalami rugi-rugi energi yang tinggi. Loss situation dapat diketahui dengan peninjauan terhadap daerah yang memiliki tingkat pembebanan yang tinggi karena pada daerah dengan tingkat pembebanan yang tinggi kemungkinan terjadi rugi-rugi energi yang terjadi juga sangat besar.

Sedangkan loss source adalah sumber atau penyebab terjadinya rugi-rugi energi tersebut. Loss source dapat disebabkan karena adanya penurunan tegangan (voltage drop), panjang saluran diameter, diameter penghantar, dan lain-lain yang berhubungan dengan power quality. Dengan menganalisa loss situation dan mengidentifikasi loss source maka rugi-rugi energi jaringan distribusi tenaga listrik dapat diketahui. Losses total dapat ditentukan jika jumlah energi yang masuk dan meninggalkan daerah kerugian (loss district) diketahui. Jumlah energi yang masuk pada pelanggan seringkali dicatat oleh petugas untuk mengetahui berapa besar energi yang dikonsumsi. Pencatatan energi umumnya dilakukan setiap bulan sehingga memungkinkan untuk menemukan losses total setiap bulan.

Setiap kondisi di dalam sistem distribusi dan mungkin juga didalam daerah kerugian memiliki informasi yang berbeda karena disebabkan adanya parameter-parameter yang berbeda pula. Didalam perhitungan technical losses, berbagai informasi operasional dapat digunakan, namun ketersediaan data yang akan digunakan didalam metode perhitungan yang dipilih harus terpenuhi agar hasil yang diperoleh tepat.

Parameter-parameter operasional utama yang digunakan dalam perhitungan technical losses adalah :

- 1) Jumlah energi yang melalui gardu induk, penyulang atau suplai energi ke konsumen.
- 2) Pembacaan pada telemetri.

3) Pemeriksaan pengukuran yang dilaksanakan dalam satu bulan.

F. Frekuensi

Frekuensi merupakan jumlah kemunculan suatu kejadian yang berulang pada suatu jangka waktu tertentu. Frekuensi didefinisikan sebagai jumlah periode gelombang yang terjadi selama 1 detik. Mengacu pada SI, satuan frekuensi adalah Hertz yaitu jumlah siklus per detik. Nama ini diberikan sebagai penghargaan kepada Heinrich R. Hertz atas kontribusinya pada bidang gelombang elektromagnetik.

Pada sistem tenaga listrik, istilah frekuensi diasosiasikan dengan frekuensi tegangan dan arus listrik. Frekuensi ini diperoleh dari kombinasi jumlah putaran dan jumlah kutub listrik pada generator di pembangkit listrik. Amerika Utara, Westinghouse memilih mengoperasikan generator buaatannya pada 133 Hz, sementara Thompson-Houston menggunakan generator yang beroperasi menghasilkan 125 Hz. Di Britania Raya, frekuensi sistem bervariasi mulai dari 83 Hz hingga 133 Hz. Frekuensi yang beroperasi di eropa daratan juga bervariasi mulai dari 30 Hz hingga 70 Hz.

AEG dari Jerman menggunakan frekuensi 40 Hz untuk mentransmisikan listrik sejauh 175 km ke Frankfurt, MFO dari Swiss menggunakan frekuensi 50 Hz untuk mentransmisikan listrik ke pabriknya, sementara Ganz dari Hungaria menggunakan 42 Hz untuk melayani konsumen beban penerangannya. Standar peraturan menteri energi dan sumber daya mineral no.37 tahun 2008 nilai “frekuensi nominal 50 Hz, dan tidak lebih rendah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50,5 Hz, dan selama waktu keadaan darurat dan gangguan, frekuensi Sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52 Hz sebelum unit pembangkit diizinkan keluar dari operasi.

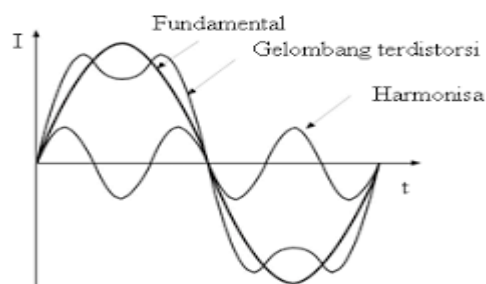
G. Harmonik

Harmonik merupakan sebuah permasalahan yang saat ini harus segera diatasi. Hal ini dikarenakan harmonik dapat menimbulkan banyak efek negatif pada sistem kelistrikan, baik itu sisi ekonomi maupun peralatan itu sendiri. Pada saat ini hampir semua peralatan listrik bersifat non-linear, seperti lampu hemat energi, ballast lampu, motor listrik, inverter, dan lainnya. Beban-beban non-linear tersebut penyebab terjadinya distorsi terhadap gelombang pada saluran daya listrik, padahal gelombang tegangan dan gelombang arus yang disalurkan serta dihasilkan dalam sistem listrik yang ideal adalah gelombang sinusoidal murni.

Definisi dari harmonik itu sendiri merupakan gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik akibat adanya distorsi gelombang tegangan dan gelombang arus. Gelombang akan terdistorsi karena adanya proses superposisi antara gelombang frekuensi dengan frekuensi dasar.

Sehingga gelombang sinus pada sistem distribusi tidak lagi murni atau mengalami cacat riak-riak gelombang. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini akan membentuk gelombang-gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat bilangan harmonik dengan frekuensi dasarnya (f , $2f$, $3f$, dst). Gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dengan frekuensi dasar merupakan orde ke- h harmonik.

Di Indonesia frekuensi dasar pada sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka untuk nilai frekuensi pada harmonik kedua (orde ke-2) yaitu 100 Hz, frekuensi harmonik ketiga (orde ke-3) 150 Hz dan seterusnya.



Gambar 2.2 Bentuk gelombang fundamental, harmonik dan fundamental yang terdistorsi

a) Efek Harmonik

Banyak sekali efek dari harmonik pada sistem tenaga listrik, baik itu sisi penyuplai maupun pada sisi pengguna listrik. selain mengakibatkan adanya kerusakan atau gangguan pada sistem distribusi listrik, efek harmonik juga dapat menimbulkan pengaruh ekonomis yang sangat signifikan. dampak yang paling besar dari efek harmonik yaitu terjadinya peningkatan panas pada peralatan sistem tenaga listrik terutama pada transformator. Kenaikan panas ini disebabkan karena selain oleh arus pada frekuensi dasar, harmonik juga menghasilkan arus eddy (Eddy current losses). Peningkatan arus eddy ini juga dapat mengurangi umur transformator.

Berikut ini adalah beberapa efek yang ditimbulkan oleh harmonik:

1) Efek Jangka Pendek

Efek jangka pendek yang disebabkan oleh harmonisa yaitu terganggunya peralatan kontrol yang digunakan pada system elektronik, alat-alat pengaman seperti relay, dan mengganggu system komunikasi yang berada didekat dengan sistem tenaga listrik.

2) Efek Jangka Panjang

Efek jangka panjang yang disebabkan oleh harmonisa yaitu pemanasan pada kapasitor dan mesin-mesin listrik. Sedangkan pada trafo akan menyebabkan penurunan nilai efisiensi yang mengakibatkan kerugian daya, karena trafo dirancang sesuai dengan frekuensi yang telat ditetapkan. Maka, trafo rentan terhadap pengaruh dari harmonik.

b) Total Harmonic Distortion

Total harmonic distortion (THD) merupakan sebuah ukuran harmonik yang paling umum digunakan untuk menunjukkan tinggi rendahnya kandungan dari jumlah harmonik pada suatu gelombang yang terdistorsi. THD yaitu prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya yang biasanya dalam bentuk persen (%). Menurut standar internasional, nilai maksimal THD yang diijinkan sebesar 5% dari arus dan tegangan frekuensi fundamentalnya. Semakin besar nilai prosentase THD arus atau tegangan, maka akan semakin besar pula tingkat resiko kerusakan yang

akan dialami oleh sistem kelistrikan. Untuk gelombang arus, nilai THD nya didefinisikan seperti berikut:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

Untuk gelombang tegangan, nilai THD nya didefinisikan sebagai berikut:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Keterangan:

THD_V	= Total harmonic distortion tegangan
THD_I	= Total harmonic distortion arus
V_h	= Nilai tegangan harmonik (V)
V_1	= Nilai tegangan fundamental (V)
I_h	= Nilai arus harmonik (A)
I_1	= Nilai arus fundamental (A)
h	= arus dan tegangan harmonik ke-h

c) Standar Distorsi Harmonisa

Ada berbagai macam standar distorsi harmonisa yang dipakai disetiap negara yang berbeda, diantaranya adalah standar IEEE 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC61000-3-6, dan lain-lain. Standar IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI dan IEEE banyak digunakan di Amerika. Mengenai standar harmonisa yang digunakan pada penelitian adalah standar dari IEEE no 519 tahun 1992.

Standar yang digunakan memiliki dua kriteria untuk mengevaluasi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THDI) dan batas harmonisa untuk tegangan (THDV). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan. Standar harmonik tegangan memiliki acuan berdasarkan nilai tegangan yang digunakan pada sistem, sedangkan untuk acuan harmonik arus yaitu nilai perbandingan dari arus hubung singkat dengan arus yang bekerja pada beban.

Standar distorsi harmonisa tegangan dan arus berdasarkan standar IEEE no 519 tahun 1992 dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4.

Tabel 2.3 Batas Total Harmonik Distorsi Tegangan

Nominal Voltage	Individual Harmonic Order	THD
$V \leq 69 \text{ kV}$	3,0 %	5,0 %
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1,5 %	2,5 %
$V \geq 161 \text{ kV}$	1,0 %	1,5 %

Tabel 2.4 Batas Total Harmonik Distorsi Arus

SCA/I _L	Individual harmonic order (h) current distortion limit					THD
	H < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	H ≥ 35	
$V_{\text{supply}} \leq 69 \text{ kV}$						
< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20 – 50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %
50 – 100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100 – 1000	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %
> 1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %
SCA/I _L	Individual harmonic order (h) current distortion limit					THD
	H < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	H ≥ 35	
$69 \text{ kV} < V_{\text{supply}} < 161 \text{ kV}$						
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 – 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %
50 – 100	5,0 %	2,25 %	2,0 %	1,25 %	0,35 %	6,0 %
100 – 1000	6,0 %	2,75 %	2,5 %	2,0 %	0,5 %	7,5 %
> 1000	7,5 %	3,5 %	3,0 %	2,5 %	0,7 %	10,0 %
$V \geq 161 \text{ kV}$						
< 50	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
≥ 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %

Untuk mengetahui standar THD arus yang diijinkan pada tabel 2.4 dari suatu sitem atau trafo, terlebih dahulu mencari besar nilai arus Short Circuit (I_{sc}) dan mengukur arus beban (I_L). berikut cara perhitungan I_{sc}:

$$I_{sc} = \frac{\text{Daya Trafo (VA)}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z\%}$$

Keterangan :

V_{LL} = Tegangan Antar Fasa (Volt)

Z % = Impedansi Trafo

d) Teknik Mengurangi Distorsi Harmonik

Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk memperbaiki gelombang distorsi, antara lain: filter, injeksi arus harmonik dan transformator penggeser fase. Teknik yang paling sederhana dan praktis untuk diterapkan adalah teknik filter, umumnya filter terbagi menjadi tiga kelompok yaitu filter pasif, filter aktif dan filter hybrid.

Filter *Pasif Single-Tuned* yaitu tipe filter yang paling umum dan berfungsi sebagai filter yang dapat mengalihkan arus harmonisa pada orde tertentu yang tidak diinginkan atau melebihi batas standar yang telah ditentukan dalam suatu sistem tenaga, misalkan orde harmonisa arus ke-3 yang terdekat kemungkinan juga bias tereduksi. Rangkaian filter Pasif *Single-Tuned* terdiri dari komponen kapasitor, inductor, dan resistor. Prinsip kerja utama dari filter harmonisa pasif adalah resonansi, yaitu menurunkan impedansi sekecil mungkin pada frekuensi yang ditala dan pada filter *single-tuned* hanya ada satu orde yang ditala. Dengan penambahan filter harmonisa pada sistem tenaga listrik yang mengandung harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin.

Filter aktif merupakan perangkat elektronika daya yang mereduksi nilai harmonisanya pada setiap fasa, sehingga gelombang arus tetap sinusoidal. Sedangkan filter hybrid merupakan gabungan dari filter pasif dan filter aktif. Sehingga metode penyelesaian yang paling efektif dan ekonomis yaitu menggunakan filter *single-tuned* untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sitem tenaga. Selain itu, pemasangan filter harmonisa pasif juga dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya.

Dalam menentukan filter harmonisa *Pasif Single-Tuned* dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

1) Spesifikasi Resistor

$$R = \frac{V}{I}$$
$$P = V \times I$$

Keterangan:

R = Kapasitas Resistor (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus Harmonisa Orde ke - 3

P = Kapasitas Daya Resistor (W)

2) Q Faktor

$$X_L = X_C = X_n$$

$$Q = \frac{X_n}{R}$$

$$X_n = Q \times R$$

Keterangan:

X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

X_C = Reaktansi Kapasitif (Ω)

Q = Kualitas Filter (30 - 100)

3) Spesifikasi Induktor

$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

Keterangan:

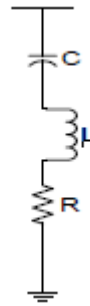
L = Kapasitas Induktor Filter (H)

4) Spesifikasi Kapasitor

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$
$$C = \frac{1}{\omega X_c}$$

Keterangan:

C = Kapasitas Capacitor Filter (F)



Gambar 2.5 Filter harmonisa *Pasif Single-Tuned*

H. Faktor Daya

Faktor daya atau yang disebut $\cos \phi$ merupakan perbandingan antara daya aktif (p) dan daya semu (s). Faktor Daya merupakan istilah dari daya listrik yang terpakai kW terhadap daya total yang disampaikan oleh perusahaan listrik kVA ke perusahaan. Secara teoritis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya (Pf)} &= \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}} \\ &= \frac{kW}{kVA} \\ &= \frac{V \times I \times \cos \phi}{V \times I} \\ &= \cos \phi \end{aligned}$$

PT. PLN (persero) selaku penyedia daya listrik memberikan batasan minimal nilai faktor daya ($\text{Cos } \phi$), untuk bangunan gedung diberi batas sebesar 0,85. Jika nilai faktor daya rata-rata dibawah angka tersebut maka dikenakan denda kVAr oleh pihak PLN. Batas minimal nilai faktor daya ($\text{Cos } \phi$) yang diberikan PLN pada bangunan gedung yaitu sebesar 0,85. Jika di bawah angka tersebut maka dikenakan denda kVAr.

Pergeseran fasa antara tegangan dan arus yang terjadi diakibatkan oleh penggunaan beban yang bersifat induktif seperti motor-motor listrik, lampu TL, dan sebagainya, mengakibatkan tegangan dan arus tidak sefase. PT. PLN (persero) selaku penyedia daya listrik memberikan batasan terhadap faktor daya, untuk bangunan gedung diberi batas sebesar 0.85. jika faktor daya rata-rata dibawah angka tersebut maka dikenakan denda Penalti oleh PLN. Penyebab faktor daya rendah pada suatu sistem jaringan listrik adalah beban induktif. Pada suatu rangkaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar 90 derajat terhadap tegangan, perbedaan sudut fase ini yang akan menyebabkan faktor daya untuk mendekati nol. Beban-beban listrik yang menyebabkan rendahnya faktor daya antara lain motor induksi, unit-unit ballast dari lampu, dan alat-alat las busur listrik.

I. Pengertian LVMDP

LVMDP dalam bahasa Indonesia lebih dikenal dengan nama PUTR atau Panel Utama Tegangan Rendah. LVMDP Merupakan induk kendali atau pusat kendali power dalam satu bangunan, baik bangunan tersebut berupa perkantoran, pergudangan, apartement, hotel, pabrik, ataupun tempat tinggal. Disebut pusat kendali power karena sebelum power / tenaga listrik didistribusikan pada setiap pemakaian, power akan diolah dan dikontrol dari induk power atau lebih dikenal dengan nama Panel (LVMDP atau PUTR).

Sumber tenaga yang dipergunakan, biasanya dari PLN, Diesel/ Genset, atau keduanya dan dapat dipergunakan secara bergantian, bersamaan secara terpisah, atau bersamaan secara Paralel/menjadi satu, Pengendalian pada Pusat Kendali ini, bisa dioperasikan dengan cara Manual oleh Operator, atau

Automatis dengan kontrol dari dalam panel itu sendiri, atau dengan Building Automatic System (BAS) yang kini banyak dipergunakan. Terletak dalam ruangan tersendiri dan terpisah dari ruang panel distribusi yang lain, berdiri sendiri atau menjadi satu dengan Trafo atau sumber power dari PLN, atau menjadi satu ruang dengan Genset. Berfungsi sebagai sumber power utama, panel ini akan mempermudah pendistribusian power ke pemakaian-pemakaian melewati Panel Distribusi per bagian serta mempermudah pengecekan pemakaian daya secara keseluruhan.

Panel ini akan sangat mudah dibedakan dari panel-panel yang lain karena memang mempunyai nama dengan kata UTAMA (MAINS) dan mempunyai bentuk fisik yang lebih besar dari panel-panel yang lain. Akan tetapi yang paling mudah untuk dikenali adalah bahwa sumber power yang masuk dalam panel ini adalah langsung dari penghasil power itu sendiri. yaitu dari Trafo/PLN atau dari Genset dan bukan dari panel lain.

Adapun fungsi utama dari LVMDP adalah :

- 1) Sebagai panel penerima daya/power dari *transformer (trafo)* dan mendistribusikan power tersebut lebih lanjut ke panel *Low voltage sub distribution (LVSDP)*.
2. Menerima daya listrik dari transformer atau genset untuk selanjutnya didistribusikan ke panel-panel distribusi tegangan rendah.
3. Pembagian distribusi listrik ke panel-panel distribusi tegangan rendah dari *outgoing LVMDP* menuju ke panel distribusi.

Adapun keuntungan dan penguanaa menggunakan Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) adalah sebagai berikut:

- 1) Menghemat proses distribusi listrik
- 2) Lebih aman terhadap bahaya listrik seperti short sirkuit.
- 3) Menawarkan fasilitas konversi power dan distribusi dari sumber-sumber primer dan sekunder untuk berbagai perangkat eksternal dan peralatan.

- 4) Menjaga sumber-sumber daya primer dan sekunder secara terus menerus sehingga aman dan stabil memberikan kekuatan untuk peralatan atau perangkat eksternal.
- 5) Penggunaan dan aplikasi Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) diantaranya adalah shorted output device, heater current indication, loop break alarms, heater break alarms, bandara / Airport, stadion dan gedung pertunjukan.

Panel Low Voltage Main Distribution (LVMD) memiliki beberapa komponen penyusun yang akan mempermudah dalam sistem kerjanya, komponen-komponen tersebut antara lain:

a) Busbar

Busbar merupakan komponen penghantar listrik yang dapat menghantarkan arus dan tegangan listrik. *Busbar* dipakai untuk perakitan panel dan terbuat dari tembaga.



Gambar 2.6 Busbar

b) Pengaman Utama

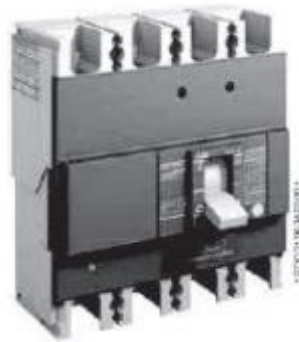
Pada LVMDP, pengaman utama terdapat pada sisi incoming. Sisi incoming merupakan sisi dimana panel mendapat input sumber energi listrik dari trafo/genset. Pengaman utama yang biasa digunakan pada LVMDP adalah MCCB, ACB, atau OCB. Tergantung kapasitas daya yang digunakan pada sistem LVMDP itu sendiri.



Gambar 2.7 ACB (katalog ABB 2015 1.3)

c) Pengaman Cabang

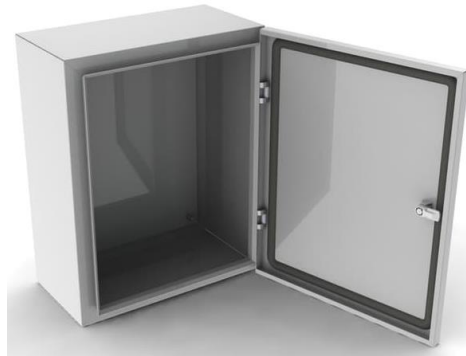
Berbeda dengan pengaman utama, pengaman cabang pada *LVMDP* terletak pada sisi *Outgoing*. Sisi *Outgoing* merupakan sisi dimana panel *LVMDP* mendistribusikan energi listrik menuju titik-titik beban. Pengaman yang sering digunakan pada pengaman cabang ini adalah *MCCB*.



Gambar 2.8 MCCB (katalog ABB 2015 1.3)

d) Casing/Box

Casing/box panel digunakan untuk menempatkan semua peralatan listrik yang akan digunakan, Ada beberapa box panel sudah tercantumkan proteksi terhadap debu dan air (*IP*).



Gambar 2.9 Box Panel

Selain elemen dasar di atas, pada LVMDP juga dilengkapi dengan elemen tambahan untuk lebih menyempurnakan fungsi dan kinerja dari LVMDP ketika sedang beroperasi. Berikut merupakan elemen tambahan pada LVMDP :

- a) *Air Circuit breaker (ACB)*, digunakan untuk pemutus sirkit *power* listrik utama yang berasal dari sumber listrik, Arus operasionalnya (*In*) bisa mencapai 100-6300 Ampere dan kapasitas pemutusannya (*breaking cacity*) mencapai 50-150KA.
- b) *Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)*, digunakan untuk pemutus sirkit *power* listrik sub distribusi. Arus opersionalnya (*In*) bisa mencapai 100-1600 ampere dan kapasitas pemutusannya (*breaking capacity*) nya mencapai 20-100KA.
- c) *Ampere meter*, digunakan untuk mengukur arus pemakaian listrik tiap fase nya.
- d) *Volt meter*, digunakan untuk mengukur tegangan sirkit baik tegangan satu fase dan tiga fase.
- e) Lampu indikator, digunakan untuk indikasi adanya tegangan listrik tiap fase.