

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kualitas Daya Listrik

Menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) (IEEE, 2019) 1100 kualitas daya listrik merupakan suatu konsep pendayaan dan sensitivitas pentanahan dari perlatan listrik yang tepat untuk peralatan, sedangkan menurut IEC (*International Electrotheknical Commission*) (IEC, 1999) kualitas daya sebagai sekumpulan parameter yang menentukan sifat catu daya yang dikirimkan ke pengguna dalam kondisi operasi normal dalam hal kontinuitas pasokan dan karakteristik tegangan (besaran, frekuensi, bentuk gelombang).

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus dan frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik (Dugan et al 2004). Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri (Dugan et al., 2004).

2.1.1 *Overvoltage dan Undervoltage*

2.1.1.1 *Overvoltage*

Tegangan berlebih atau *overvoltage* merupakan gangguan kualitas daya listrik dimana ketika tegangan fundamental nya atau tegangan sumber lebih dari tegangan seharusnya.

Tegangan berlebih ini terjadi ketika peningkatan tegangan RMS lebih dari tegangan seharusnya atau lebih dari 105% pada frekuensi daya selama lebih dari satu menit. Menurut SPLN 1:1995 batasan tegangan berlebih yaitu 5% dari tegangan nominalnya, dimana dapat dirumuskan sebagai berikut (Hermawan et al, 2023) :

$$\text{Batas Tegangan Lebih} = \frac{V_{\text{terukur}} - V_{\text{nominal}}}{V_{\text{nominal}}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Tegangan lebih diakibatkan oleh operasi pensaklaran beban seperti switching beban besar ataupun kapasitor bank kemudian akibat lemahnya pengaturan tegangan yang dikehendaki terhadap sistem tenaga listrik. Kesalahan sistem pengaturan pada tap transformator juga dapat mengakibatkan tegangan lebih (Roger C. Dugan, 2004).

2.1.1.2 *Undervoltage*

Tegangan kurang atau *undervoltage* merupakan gangguan kualitas daya listrik dimana ketika tegangan fundamentalnya atau tegangan masukannya kurang dari tegangan seharusnya.

Penurunan tegangan ini atau tegangan kurang dalam keadaan tegangan RMS kurang dari 90% dari nilai tegangan seharusnya dalam kurun waktu lebih

satu menit sebuah operasi sistem pensaklaran beban atau memutuskan kapasitor bank dapat menyebabkan *undervoltage*. Menurut standar SPLN 1:1995 batas tegangan kurang yaitu kurang dari 10% dari tegangan nominalnya. Untuk menentukan tegangan kurang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Hermawan et al, 2017):

$$\text{Batas Tegangan Kurang} = \frac{V_{\text{terukur}} - V_{\text{nominal}}}{V_{\text{nominal}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Sebuah operasi pensaklaran beban maupaun pemutusan pada kapasitor bank dapat menyebabkan *undervoltage*. Keadaan *overload* dapat menyebabkan tegangan turun (Roger C. Dugan, 2004).

2.1.2 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan tegangan maupun arus adalah distribusi beban pada tiap fasanya tidak merata, ketidakseimbangan ini terjadi ketika distribusi beban tidak merata pada tiap fasanya, dimana menimbulkan arus pada kawat netral, tentunya hal ini dapat menyebabkan rugi-rugi daya (*losses*).

Rasio atau perbandingan nilai tegangan komponen urutan negatif atau urutan nol dengan komponen urutan positif dapat menentukan persentase ketidakseimbangan (Dugan et al, 2004).

Ketidakseimbangan tegangan dan arus dapat ditentukan dengan persentase sebagai berikut :

$$\%V_{\text{unb}} = \frac{\text{max deviasi dari rata - rata tegangan}}{\text{rata - rata tegangan}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Kemudian untuk ketidakseimbangan arus menggunakan persamaan :

$$V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3} \text{ (Volt)} \quad (2.4)$$

$$\text{Voltage deviasi (RS)} = |V_{RS} - V_{avg}| \text{ (Volt)} \quad (2.5)$$

$$\text{voltage deviasi (ST)} = |V_{ST} - V_{avg}| \text{ (Volt)} \quad (2.6)$$

$$\text{Voltage deviasi (TR)} = |V_{TR} - V_{avg}| \text{ (Volt)} \quad (2.7)$$

$$\%I_{unb} = \frac{[a - 1] + [b - 1] + [c - 1]}{3} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$I_{avg} = \frac{I_{RS} + I_{ST} + I_{TR}}{3} \text{ (Ampere)} \quad (2.9)$$

$$\text{koefisien } a = \frac{I_R}{I_{avg}} \quad (2.10)$$

$$\text{koefisien } b = \frac{I_S}{I_{avg}} \quad (2.11)$$

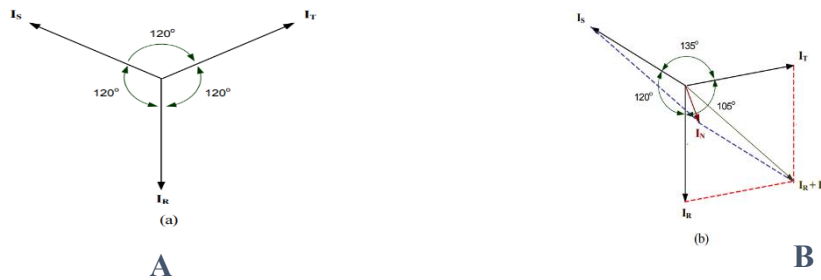
$$\text{koefisien } c = \frac{I_T}{I_{avg}}$$

Ketidakseimbangan beban mengakibatkan sudut beban per fasanya tidak sama dengan 120° , maka dapat menimbulkan mengalirnya arus pada kawat netral (Julianto.E, 2016).

Yang dimaksud dengan beban tidak seimbang adalah, dimana (Saiful et al, 2019) :

- a. Ketiga vector sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° pada masing masing sisinya.
- b. Ketiga vector tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° pada masing masing sisi nya.

- c. Ketiga vector tidak sama besar dan juga tidak membentuk sudut 120° pada masing-masingnya.



Gambar 2. 1 Vektor ketika beban seimbang (A) dan Vektor Ketika beban tidak seimbang (B)

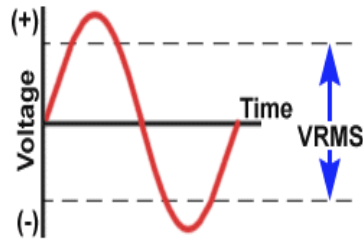
Gambar 2.1 merupakan sudut fasa pada sistem 3 fasa, dimana pada A ketika beban seimbang maka akan berbentuk Y dan jika tidak seimbang maka akan tidak terdefinisi bentuknya.

2.1.3 Harmonisa

Harmonisa merupakan gangguan yang dapat terjadi pada sistem distribusi tenaga Listrik akibat adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang ini disebabkan adanya pembentukan gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi awal fundamentalnya (Iskandar, 2017). Jumlah antara frekuensi fundamental dengan kelipatannya frekuensinya akan menyebabkan frekuensi yang tidak lagi berbentuk sinusoidal murni, melainkan terdistorsi (Syamil, 2023).

Beberapa istilah penting yang harus di mengerti, yaitu *Root Mean Square* (RMS), *Individual Harmonic Distortion* (IHD), dan *Total Harmonic Distortion* (THD).

2.1.3.1 RMS (Root Mean Square)



Gambar 2. 2 Gelombang Tegangan RMS

Gambar 2.2 merupakan gelombang sinusoidal tegangan RMS dapat didefinisikan sebagai akar kuadrat rata-rata dari fungsi yang terdapat amplitude dari fungsi berkalanya pada suatu periode, sehingga RMS dapat di artikan sebagai persamaan berikut :

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk menghitung tegangan dan arus RMS adalah :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} = \sqrt{\sum_n^\infty = 1V_n^2} \quad (2.13)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{\sum_n^\infty = 1I_n^2} \quad (2.14)$$

Atau dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \quad (2.15)$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (2.16)$$

2.1.3.2 Individual Harmonic Distortion (IHD)

Distorsi harmonisa individu (IHD) merupakan rasio perbandingan antara nilai RMS dari nilai harmonisa individual dan nilai RMS fundamental.

$$IHD = \sqrt{\left(\frac{I_{sn}}{I_{s1}}\right)^2} \times 100\% \quad (2.17)$$

Dimana :

- IHD = Individual Harmonic Distortion (%)
- Isn = Arus Orde Harmonisa (A)
- Is1 = Arus Fundamental (A)

2.1.3.3 Total Harmonic Distortion (THD)

Distorsi harmonisa total (THD) merupakan rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dengan nilai RMS fundamentalnya. Nilai THD terbagi menjadi dua macam yaitu THD tegangan (THD_v) dan THD arus (THD_i), dengan persamaan berikut :

Berikut merupakan perhitungan THD_v:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.18)$$

Dimana :

- THD_v = Total Harmonic Distortion Tegangan (%)
- V_h = Komponen Harmonisa tegangan -h(V)
- V₁ = nilai tegangan fundamental (rms) (V)

Berikut persamaan THD_i :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.19)$$

Keterangan :

THD_V =Distorsi harmonic total arus (%)

I_h = Komponen Harmonisa Arus ke-h(A)

I_1 = nilai arus fundamental (rms) (A)

2.1.3.4 Demand Distorsi Total (TDD)

TDD merupakan ukuran distorsi arus total yang dihasilkan oleh semua beban non linear dalam periode jangka waktu lebih panjang. Nilai THD dapat digunakan sebagai penentu derajat distorsi arus, pada kenyataannya arus kecil dapat menyebabkan THD yang signifikan (Nugroho et al. 2022)

$$TDD = \frac{\sqrt{I_{h2}^2 + I_{h3}^2 + I_{h4}^2 + I_{h5}^2 + \dots}}{I_L} \times 100\% \quad (2.20)$$

Diketahui :

I_L = Arus Beban Maksimum (A)

Harmonisa terjadi di akibatkan oleh peralatan listrik satu phase dimana dapat menimbulkan panas pada kawat netral. Beban nonlinear menyebabkan harmonic pada orde ganjil kelipatan tiga disebut *triplen harmonic* yaitu harmonic pada orde ke-3, ke-9, ke-15. Harmonic ini menghasilkan arus netral yang lebih tinggi daripada arus phase (Septian, 2021).

Tabel 2. 1 Urutan Frekuensi Harmonisa

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
urutan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Tabel 2.1 merupakan urutan polaritas pada komponen harmonic dimana polaritas pertama dinyatakan dengan positif, kemudian kedua negative dan ketiga itu 0, harmonik ke 4 positif, harmonik ke 5 negatif, dan ke-6 adalah 0, terus saja berulang urutannya. Selain dapat menimbulkan panas harmonic dapat menyebabkan sebagai berikut :

- A. Peralatan listrik rusak
- B. Terbakarnya kabel penghantar
- C. Kinerja komponen listrik tidak maksimal
- D. Memperpendek usia komponen listrik

Tabel 2. 2 Pengaruh Polaritas Hamonisa

Urutan Polaritas	Pengaruh Pada Panel Listrik	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet	Panas
Negative	Menimbulkan medan magnet	Panas
Nol	Tidak ada	Mengakibatkan arus Netral Pada trafo

Tabel 2.2 merupakan pengaruh polaritas harmonisa dari orde harmonisanya, dimana terdapat orde positif, orde negative dan orde nol.

2.2 Besaran Listrik Dasar

Terdapat beberapa besaran listrik dasar yang menjadi pokok dari Besaran Listrik, antara lain beda potensial, Arus Listrik dan Selain ketiga parameter tersebut ada faktor lain yang amat penting yaitu faktor daya.

2.3.1. Beda Potensial Listrik

Beda potensial listrik merupakan energi pada setiap muatan. Beda potensial ini memiliki satuan V (Volts). Beda potensial ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{W}{q} \quad (2.21)$$

Keterangan :

- V = beda potensial (V)
- W = usaha yang diperlukan (J)
- q = Muatan Arus listrik (C)

2.3.2. Arus Listrik

Arus Listrik merupakan laju aliran muatan listrik yang melalui penghantar luasan penampang. Arus listrik dikatakan searah, dimana membawa muatan positif, arus listrik satuannya adalah ampere (A).

Ampere (A) dinyatakan sebagai satuan Coloumb peredetik, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.22)$$

Keterangan :

- i = arus Listrik (A)
- dq = jumlah muatan (C)
- dt = perubahan waktu (detik)

2.3.3. Frekuensi

Frekuensi merupakan ukuran jumlah putaran ulang peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Satuan frekuensi dinyatakan dalam hertz (Hz). Frekuensi 1 Hz sama dengan peristiwa yang terjadi pada satu kali perdetik, dimana dapat dinyatakan bahwa (f) adalah hasil kebalikan dari periode (T), sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.23)$$

Keterangan :

- f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (detik)

2.3 Daya Listrik

Daya listrik pada sistem arus bolak balik sistem btiga phase terdapat tiga macam antara lain :

Gambar 2. 3 Gelombang Frekuensi

1. Daya Aktif
2. Daya Reaktif
3. Daya Semu

2.3.1 Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang diperlukan oleh beban resistif murni daya aktif ini merupakan daya yang dapat dikonversikan kepada daya yang lain. Satuan daya aktif dinyatakan dengan (W). untuk menentukan daya aktif dapat dirumuskan sebagai berikut (dinata dkk, 2017) :

$$P = V \times I \times \cos\varphi \quad (2.24)$$

Persamaan untuk 3 phasa :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi \quad (2.25)$$

Keterangan :

P = daya (W)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.3.2 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang disebabkan oleh beban Induktif. Dampak dari daya reaktif yaitu dapat terjadinya pergeseran arus dan tegangan listrik akibat beban induktif satuan daya reaktif dinyatakan dengan VAR. Daya reaktif dapat ditentukan dengan persamaan (dinata dkk, 2017) :

$$Q = V \times I \times \sin\phi \quad (2.26)$$

Untuk 3 phase :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \quad (2.27)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (Var)

Sin ϕ = Faktor Reaktif

2.3.3 Daya semu (Daya Nyata)

Daya semu adalah penjumlahan dari daya aktif dan daya reaktif dengan satuan VA. Daya semu dapat ditentukan dengan persamaan (Dinata dkk, 2017) :

$$S = V \times I \quad (2.28)$$

Untuk sistem 3 phase :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.29)$$

Dimana :

S = Daya semu (Va)

2.4 Faktor daya

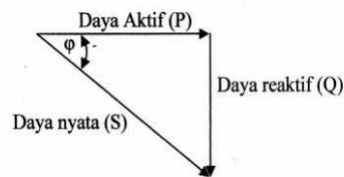
Laju energi Listrik dapat di definisikan sebagai daya Listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Perubahan arus dan tegangan ini dapat berubah jika masukan dayanya berubah.

Tidak semua daya yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai daya aktif. Terdapat juga daya reaktif yang merupakan bagian yang tidak memberikan manfaat secara langsung.

Rasio besarnya daya yang bisa digunakan terhadap daya tampak yang dihasilkan sumber inilah yang disebut sebagai faktor daya (Kurniawan, 2012).

Terdapat tiga daya yang ada pada sistem tenaga Listrik bolak-balik yaitu:

- a. Daya Aktif (P) dengan satuan Watt (W)
- b. Daya Reaktif (Q) dengan satuan Volt Ampere Reaktif (VAR)
- c. Daya semu (S) dengan satuan Volt Ampere (VA)



Gambar 2. 4 Segitiga Daya (Almer, 2023)

Gambar 2.8 menunjukkan ketiga faktor daya dalam bentuk segitiga yang biasa disebut dengan segitiga daya dimana :

$$S = P + jQ \quad (2.30)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.31)$$

$$KVA = \sqrt{KW^2 + KVAR^2} \quad (2.32)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (2.33)$$

Sehingga dapat dihasilkan :

$$\cos = \frac{\text{daya aktif (KW)}}{\text{daya nyata (KVA)}} \quad (2.34)$$

Pada suatu sistem tenaga Listrik terdapat 3 jenis faktor daya antara lain (Suprianto et al, 2015) :

1. Faktor daya bernial satu (*unity*) : keadaan saat nilai $\cos \phi$ adalah berniali satu dan tegangan sumber sephasa dengan arus ke beban,.faktor daya *unity* akan terjadi jika jenis beban bersifat resistif murni.
2. Faktor daya mendahului (*leading*) : keadaan faktor daya saat kondisi beban Listrik yang bebannya bersifat kapasitif.
3. Faktor Daya terbelakang (*heading*) : keadaan faktor daya ketika kondisi aru mendahului tegangan.

2.5 Beban Linear dan Non Linear

Beban linier adalah beban yang impedansinya selalu konstan sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu (M. Ardito, 2016). Beban linear ini mematuhi hukum ohm yang menyatakan bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan. gelombang arus yang dihasilkan oleh beban linear akan sebanding dengan gelombang tegangan, apabila diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir termasuk sinusoidal yang tidak terdistorsidan tidak menimbulkan harmonisa. Beberapa contoh beban linear seperti resistor, lampu pijar, ricecooker, pemanas dan lain-lain.

Beban non linear merupakan beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dimana jika Impedansinya tidak konstan maka arus yang diberikan tidak akan berbanding lurus dengan tegangan

yang di berikan, sehingga beban non linear ini tidak mematuhi hukum ohm yang berlaku, dikatakan bahwa mematuhi hukum ohm adalah arus dan tegangan berbanding lurus (Ardito, 2016). Banyaknya aplikasi beban non linear pada sistem tenaga listrik telah membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase harmonisa arus atau THD (*Total Harmonic Distortion*) yang sangat tinggi. Dengan meluasnya pemakaian beban nonlinear, gelombang sinusodal ini dapat mengalami distorsi.

Beban non linear terbagi menjadi 2 antara lain (Arfinna, 2014) :

1. Beban non linear industry
 - a. Converter daya 3 phasa
 - b. DC *drive*
 - c. AC *drive*
2. Beban non linear non industry :
 - a. Electronic Ballast
 - b. Lampu Hemat Energi
 - c. Computer
 - d. Alat Ukur
 - e. Alat-alat elektronik
 - f. AC (*Air Conditioner*)

2.6 Rugi- Rugi daya (*Losses*)

Rugi-rugi daya (*Losses*) merupakan susut energi listrik yang dapat diartikan sebuah bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih energi yang

tersedia dengan energi terpakai (Resty, 2017). Rugi-rugi daya ini terbagi 2 berdasarkan sifatnya yaitu secara teknis dan non teknis :

1. Berdasarkan sifat teknis yaitu hilangnya daya saat awal mula penyaluran dari pembangkit hingga ke pelanggan sehingga menyebabkan panas, losses, ini terjadi diluar dari perencanaan atau bisa di katakan tidak bisa terhindarkan.
2. Berdasarkan sifat non teknis yaitu pengeluaran energi yang tidak tercatat ini diakibatkan oleh alat pengukuran yang tidak valid, pencurian listrik dan lainnya bisa di katakan gangguan eksternal.

Pada sistem distribusi pada gedung terdapat 2 jenis Losses yang sering terjadi yaitu arus netral akibat ketidakseimbangan beban kemudian faktor daya yang tidak sesuai dengan standar berikut penjelasannya :

Akibat ketidakseimbangan beban ini dapat menghasilkan rugi-rugi daya atau *losses* dimana menyebabkan arus netral yang seharusnya pada kabel netral minim bahkan nol tetapi memiliki arus, rugi-rugi daya ini akibat arus netral dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (2.35)$$

P_N = Rugi-rugi daya netral (W)
 I_N = Arus Netral (A)
 R_N - Tahanan penghantar nertal (Ohm)

Untuk mencari R dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2.36)$$

Dimana :

R = Resistansi (Ω)
 ρ = resistivity jenis (Ωm)
 l = Panjang kabel (m)
 A = Luas Penampang kabel (m^2)

Adapun akibat faktor daya yang tidak sesuai standar yaitu dapat di tentukan sebagai berikut :

$$P_{loss} = V \times I \times (1 - \cos\varphi) \quad (2.37)$$

Dimana :

P_{loss} = Rugi-rugi daya (W)
 V = Tegangan (V)
 I = Arus (A)
 $\cos\varphi$ = Faktor daya

Menurut SPLN D5. 002. 2008, Standar nilai II-24actor daya minimal 85% atau 0,85, standar ini menentukan bahwa daya yang dibangkitkan terserap sangat baik.

2.7 Standar Kualitas Daya

Standar kualitas daya merupakan patokan maupun batasan dari berbagai macam permasalahan kualitas daya, seperti harmonisa, ketidakseimbangan beban, tegangan berlebih, tegangan kurang, faktor daya rendah, dan masih banyak lagi permasalahan kualitas daya listrik. Standar kualitas daya mengacu pada standar internasional yaitu IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan IEC (*International Electrotechnical Commission*) sebagai pijakan standar kualitas daya nya.

2.7.1 Ketidakseimbangan beban

Menurut IEEE 446-1995 ketidakseimbangan beban sebesar 5%-20%, sedangkan Menurut IEEE 1159-2009 batas ketidakseimbangan beban sebesar 30%.

2.7.2 Faktor daya

Menurut Standar PLN 70-1:1985 bahwa nilai II-25actor daya yang di izinkan lebih besar atau sama dengan 85% atau 0,85.

2.7.3 Harmonisa

Berdasarkan IEEE 519-2014 standar Harmonisa tegangan atau THD tegangan dapat di tabelkan sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Standar IEEE 519-2014 Harmonisa Tegangan

<i>Bus voltage V at PCC</i>	<i>Individual Harmonic (%)</i>	<i>Total Harmonic Distortion (%)</i>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Tabel 2.4 Standar IEEE 519-2014 Harmonisa Arus

Maximum Harmonic Curent Distortion in Percent of I_L

<i>Individual Harmonic Order (odd harmonic)^{a,b}</i>						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h$ ≤ 11	$11 \leq h$ ≤ 17	$17 \leq h$ ≤ 23	$23 \leq h$ ≤ 35	$35 \leq h$ ≤ 50	<i>THD</i> (%)
< 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

Dimana :

$$I_{sc} = \frac{V_s}{Z_{trafo}} \quad (2.38)$$

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

V_s = Tegangan Skunder Trafo (V)

Z_{trafo} = Impedansi pada trafo (Ω)

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \quad (2.39)$$

I_L = Arus beban penuh (A)

2.8 Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Filter Harmonisa

Secara umum filter harmonisa dalam sistem tenaga dibedakan menjadi filter pasif dan filter aktif. Filter harmonisa digunakan untuk mengurangi II-27actorII-27cII-27 satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dalam sistem yang terdapat harmonisa, harmonisa arus dicegah memasuki sistem yang lain dengan menyediakan jalur yang memiliki impedansi rendah pada frekuensi harmonisa.

Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga yang mengandung sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa keseluruhan sistem dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki factor daya sistem.

2.8.1 Filter pasif

Filter Pasif merupakan metode yang efektif dan ekonomis dalam penyelesaian harmonisa. filter pasif ini di design khusus menangani harmonisa yang di pindahkan dari sistem tenaga. Terdapat dua jenis filter pasif yaitu seri dan parallel.

Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi parallel yang bertipe penghalang memiliki impedansi tinggi dengan frekuensi tertentu, sedangkan filter pasif parallel memiliki karakteristi sebaliknya yaitu sebagai resonansi seri dan memiliki impedansi rendah Filter pasif ini tersusun dari tiga buah komponen yaitu Resistor, Induktor dan Kapasitor (RLC).

2.8.1.1 Filter Pasif *Single-Tuned*

Filter pasif single tuned merupakan filter yang terdiri dari komponen komponen Resistor Ω , Induktor (L) dan Kapasitor (C) yang terhubung secara seri. Filter pasif single tuned akan mempunyai impedansi yang kecil pada frekuensi resonansi sehingga arus yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi resonansi akan dibelokkan melalui filter. Untuk mengatasi harmonisa pada sistem tenaga listrik distribusi yang paling banyak digunakan adalah filter pasif single tuned.

Langkah-langkah untuk menentukan filter harmonisa menggunakan filter pasif *single-tuned* :

1. Menentukan ukuran kapasitas kapasitor (Q_c) berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk memperbaiki factor daya :

$$Q_c = P \{ \tan(\cos^{-1}pf_1) - \tan(\cos^{-1}pf_2) \} \quad (2.40)$$

Dimana :

Q_c = Kapasitas Kapasitor
 P = beban (kWh)
 Pf_1 = Faktor daya awal
 Pf_2 = Faktor daya setelah di perbaiki

2. Menentukan kapasitansi kapasitor (C)

$$C = \frac{Q_c}{2 \times \pi \times F \times V^2} \quad (2.41)$$

Dimana

C = kapasitansi kapaistor (Farad)
 F = Frekuensi (Hz)
 V = Tegangan (Volt)

3. Menentukan reaktansi kapasitor (X_c)

$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times F \times C} \quad (2.42)$$

Dimana :

X_c = Reaktansi Kapasitif (Ω)

C = kapasitansi kapasitor (Farad)

4. Menentukan induktansi inductor (L)

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}} \quad (2.43)$$

5. Menentukan reaktansi induktif dari inductor (X_L)

$$X_L = 2 \times \pi \times F \times L \quad (2.44)$$

6. Menentukan reaktansi karakteristik dari filter (X_n)

$$X_n = h_n \times X_L \quad (2.45)$$

Dimana :

H_n = Harmonik orde ke-n

X_L = reaktansi induktif (Ω)

7. Menentukan tahanan R dari Induktor

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (2.46)$$

2.9 Power Quality Analyzer Kyoritsu type KEW 6315

1	0.997	41	0.301	81	0.216	121	0.177
2	0.950	42	0.297	82	0.215	122	0.176
3	0.878	43	0.294	83	0.213	123	0.176
4	0.811	44	0.291	84	0.212	124	0.175
5	0.754	45	0.288	85	0.211	125	0.174
6	0.707	46	0.285	86	0.210	126	0.174
7	0.666	47	0.282	87	0.208	127	0.173
8	0.632	48	0.279	88	0.207	128	0.172
9	0.602	49	0.276	89	0.206	129	0.172
10	0.576	50	0.273	90	0.205	130	0.171
11	0.553	51	0.271	91	0.204	131	0.170
12	0.532	52	0.268	92	0.203	132	0.170
13	0.514	53	0.266	93	0.202	133	0.169
14	0.497	54	0.263	94	0.201	134	0.168
15	0.482	55	0.261	95	0.200	135	0.168
16	0.468	56	0.259	96	0.199	136	0.167
17	0.456	57	0.256	97	0.198	137	0.167
18	0.444	58	0.254	98	0.197	138	0.166
19	0.433	59	0.252	99	0.196	139	0.165
20	0.423	60	0.250	100	0.195	140	0.165
21	0.413	61	0.248	101	0.194	141	0.164
22	0.404	62	0.246	102	0.193	142	0.164
23	0.396	63	0.244	103	0.192	143	0.163
24	0.388	64	0.242	104	0.191	144	0.163
25	0.381	65	0.240	105	0.190	145	0.162
26	0.374	66	0.239	106	0.189	146	0.161
27	0.367	67	0.237	107	0.188	147	0.161
28	0.361	68	0.235	108	0.187	148	0.160

29	0.355	69	0.234	109	0.187	149	0.160
30	0.349	70	0.232	110	0.186	150	0.159
31	0.344	71	0.230	111	0.185	151	0.159
32	0.339	72	0.229	112	0.184	152	0.158
33	0.334	73	0.227	113	0.183	153	0.158
34	0.329	74	0.226	114	0.182	154	0.157
35	0.325	75	0.224	115	0.182	155	0.157
36	0.320	76	0.223	116	0.181	156	0.156
37	0.316	77	0.221	117	0.180	157	0.156
38	0.312	78	0.220	118	0.179	158	0.155
39	0.308	79	0.219	119	0.179	159	0.155
40	0.304	80	0.217	120	0.178	160	0.154