

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya meliputi tegangan, frekuensi, dan bentuk gelombang. Dari sudut pandang teoritis, kualitas daya yang baik dapat diartikan bahwa tegangan yang disuplai oleh perusahaan utilitas di pintu masuk layanan pelanggan stabil dan berada dalam kisaran yang ditentukan, frekuensinya stabil dan sangat dekat dengan nilai nominalnya (dalam sepersekian persen), dan bahwa bentuk gelombang atau bentuk kurva tegangan terhadap waktu sangat mirip dengan gelombang sinus halus dari buku teks matematika (suatu kondisi yang juga digambarkan sebagai tidak adanya distorsi harmonik). (Meier, 2006)

2.2 Jenis-Jenis Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Masalah kualitas daya disebabkan oleh gejala atau fenomena elektromagnetik yang terjadi di dalam jaringan listrik. (Dugan et al., 2017)

Gejala elektromagnetik yang menyebabkan masalah kualitas daya adalah:

2.2.1 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang

Gejala perubahan tegangan yang berkepanjangan antara lain penyimpangan frekuensi listrik lebih dari 1 menit. Ada tiga jenis gejala fluktuasi jangka panjang, yaitu *OverVoltages*, *UnderVoltages*, dan *sustained interruption*. Gejala perubahan tegangan jangka panjang biasanya bukan disebabkan oleh kesalahan atau malfungsi sistem, melainkan oleh perubahan beban sistem atau operasi peralihan jaringan. Gejala perubahan tegangan jangka panjang biasanya ditampilkan sebagai grafik tegangan efektif terhadap waktu. (Dugan et al., 2017)

a. *OverVoltage*

Menurut (SNI: 04-0227, 2003) menerangkan Bahwa *OverVoltage* toleransi maksimal nya adalah +5% dari tegangan nominalnya, yaitu 220/380 Volt.

OverVoltages biasanya disebabkan oleh pelepasan beban (misalnya, pemutusan suatu beban besar), atau variasi kompensasi reaktif pada sistem (misalnya, beroperasinya kapasitor bank).(Dugan et al., 2017)

b. *UnderVoltage*

Menurut (SNI: 04-0227, 2003) menerangkan Bahwa *UnderVoltage* toleransi maksimal nya adalah -10% dari tegangan nominalnya yaitu 220/380 Volt.

UnderVoltage adalah hasil dari suatu peristiwa kembalinya keadaan *OverVoltage* menuju keadaan normalnya, Sebuah operasi pensaklaran beban atau memutuskan kapasitor bank dapat menyebabkan *UnderVoltage* sampai keadaan di mana peralatan pengaturan tegangan pada sistem tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan yang standar.(Dugan et al., 2017)

c. *Interupsi Berkelanjutan (Sustained Interruptions)*

Penurunan tegangan suplai hingga kurang dari 10% dari nominal untuk jangka waktu lebih dari 1 menit dianggap sebagai gangguan berkelanjutan, Gangguan tegangan yang lebih lama dari 1 menit sering kali bersifat permanen dan memerlukan intervensi manual untuk pemulihan (IEEE Std 1159, 2019), Gangguan tegangan yang terjadi lebih dari 1 menit merupakan

gangguan permanen yang membutuhkan campur tangan tenaga teknis untuk memperbaiki sistem tenaga tersebut agar kembali menjadi normal seperti sebelum terjadinya gangguan.(Dugan et al., 2017)

2.2.2 Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidakseimbangan tegangan (*Voltage imbalance* atau *unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fasa tegangan atau arus listrik, dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fasa atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persen.(Dugan et al., 2017).

Ketidakseimbangan tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Percent Voltage unbalance} = 100\% \times \frac{\text{maximum voltage deviation from average voltage}}{\text{average voltage}} \quad (2.1)$$

(IEEE Std 446, 1996)

Dengan % Voltage Unbalance Deviation from average voltage: selisih maksimal antara tegangan rata-rata dengan tegangan fasa terendah.

Sedangkan average voltage adalah tegangan rata-rata ketiga Fasa yaitu Fasa R, Fasa S, dan Fasa T.

ketidakseimbangan Tegangan (*Voltage Imbalance*) waktu keadaan listrik *steady state* adalah 0,5% - 5%.(IEEE Std 1159, 2019).

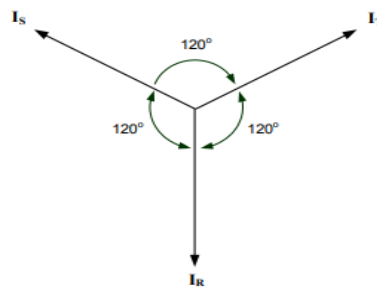
2.2.3 Ketidakseimbangan beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

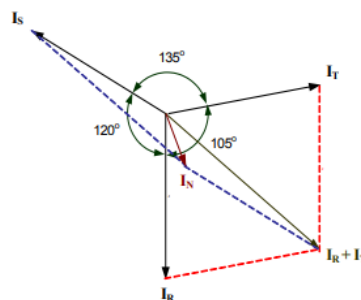
1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain



Gambar 2. 1 Beban Keadaan seimbang



Gambar 2. 2 Beban Keadaan tidakseimbang

Gambar 2. 1 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang, Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N), Sedangkan pada Gambar 2.2 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang, Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga

muncul sebuah besaran, yaitu arus netral (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. (Sentosa Setiadji et al., 2008)

Untuk konsidi beban tidak seimbang dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan :

$$I_{rata-rata} = \frac{Ir+Is+It}{3} \quad 2.2$$

$$\text{maka } a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} \quad 2.3$$

$$\text{maka } b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} \quad 2.4$$

$$\text{maka } c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} \quad 2.5$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban:

$$\text{Unbalance Load} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \quad 2.6$$

Dalam persentase :

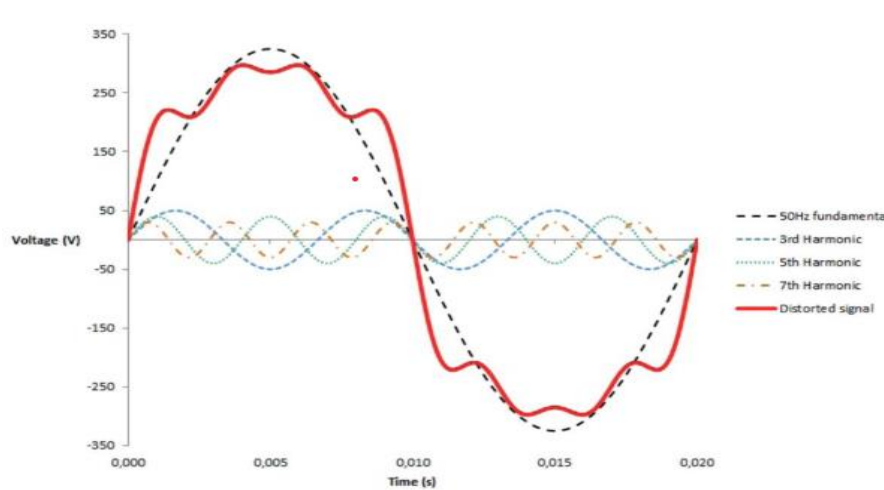
$$\% \text{ Unbalance Load} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \quad 2.7$$

Batas ketidakseimbangan beban Menurut IEEE Berdasarkan standar (IEEE Std 446, 1996) bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 5–20% maksimal untuk setiap satu fasa.

2.2.2 Harmonisa

Gambar 2.3 di bawah ini Menjelaskan bahwa harmonisa merupakan gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya, Frekuensi dasar sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz sehingga harmonisa mempunyai frekuensi

dengan nilai kelipatan dari 50 Hz, Sebagai contoh, harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya, Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.(Assaffat, 2009)



Gambar 2. 3 Bentuk gelombang harmonisa dengan frekuensi dasar 50 Hz

Gambar 2.3 Menggambarkan Harmonisa dapat menyebabkan suatu distorsi harmonisa, yaitu suatu gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan, Tingkat distorsi harmonisa dijelaskan melalui spektrum harmonisa yang lengkap dengan magnitude dan sudut fase masing – masing komponen harmonisa tunggal, Hal yang juga umum untuk kuantitas tunggal, Total Harmonics Distortion (THD) / Distorsi Total Harmonisa sebagai ukuran nilai efektif dari distorsi harmonisa.(Assaffat, 2009)

Nilai Distorsi Harmonisa Total (THD) dari suatu gelombang dapat dihitung dengan formula 2.8 :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad 2.8$$

Di mana M_h adalah nilai rms komponen harmonisa h dari kuantitas M , Kuantitas M dapat berupa besaran tegangan V maupun besaran arus I , sehingga THD_v nilai distorsi harmonisa total tegangan dan THD_i nilai distorsi harmonisa total arus listrik. dimana :

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \quad 2.9$$

Dimana

V_h = Nilai tegangan harmonisa (Volt)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (Volt)

n = Komponen Harmonik sistem yang di amati

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} \quad 2.10$$

Dimana

I_h = Nilai tegangan harmonisa (Volt)

I_1 = Nilai tegangan fundamental (Volt)

n = Komponen Harmonik sistem yang di amati

Standar harmonisa berdasarkan standar (IEEE Std 519, 2014), Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk harmonisa tegangan, Untuk standar

harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L , I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal, Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

2.3 Besaran Listrik Dasar

Terdapat tiga buah besaran listrik dasar yang digunakan di dalam teknik tenaga listrik, yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi, Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan di dalam masalah–masalah sistem tenaga listrik, Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat satu faktor penting di dalam pembahasan sistem tenaga listrik, yaitu daya dan faktor daya.

2.3.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara dua buah titik dalam rangkaian listrik yang diukur dalam satuan Volt (V) , Beda potensial listrik merupakan ukuran beda potensial yang mampu membangkitkan medan listrik sehingga menyebabkan timbulnya arus listrik dalam sebuah konduktor listrik, Agar terjadi aliran muatan (arus listrik) dalam suatu rangkaian tertutup, maka harus ada beda potensial di kedua ujung rangkaian, Beda potensial listrik adalah energi tiap satuan muatan, Beda potensial listrik memiliki satuan Volt, simbol untuk beda potensial listrik adalah V, alat untuk mengukur beda potensial disebut *Voltmeter*. (F.Z et al., 2022) Beda potensial listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2.11 dibawah ini :

$$v = \frac{W}{q} \quad 2.11$$

Dengan :

v = Beda Potensial (Volt)

w = Usaha Yang Diperlukan (Joule)

q = Muatan Listrik (Coulomb)

2.3.2 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu sesatu detik (*coulombs per second*) yang diukur dalam satuan *ampere* (F.Z et al., 2022), Arus listrik dapat dirumuskan dengan rumus 2.12 sebagai berikut.

$$i = \frac{q}{t} \quad 2.12$$

Dengan :

i = Arus Listrik (Ampere)

q = Sejumlah Muatan (Coulomb)

t = Waktu (Detik)

2.3.3 Frekuensi

Tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal, Tegangan dan arus listrik sinusoidal merupakan gelombang yang berulang, sehingga gelombang sinusoidal mempunyai frekuensi, Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan, Satuan frekuensi dinyatakan dalam *hertz* (Hz), yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang

menemukan fenomena ini pertama kali, Frekuensi sebesar 1Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, di mana frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T) (F.Z et al., 2022). seperti rumus 2.13 di bawah ini :

$$f = \frac{1}{T} \quad 2.13$$

Dengan:

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (Detik)

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda, Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz. (F.Z et al., 2022)

2.3.4 Daya Dan Faktor Daya

Daya listrik diukur dengan tiga besaran utama, yaitu : daya semu atau daya kompleks dengan satuan *Volt Ampere* (VA), daya nyata atau daya aktif dengan satuan *Watt* (W) serta daya reaktif dengan satuan *Volt Amper Reaktif* (VAR). (Assaffat, 2009)

a. Daya Aktif/Daya Nyata

Daya nyata adalah daya yang terpakai untuk alat-alat listrik dapat beroperasi, Daya nyata merupakan daya yang sebenarnya digunakan, daya nyata atau daya kerja dipengaruhi oleh tegangan dan faktor daya, makin baik tegangan dan faktor daya, maka daya kerja mesin tersebut akan makin baik dan sebaliknya makin buruk tegangan dan faktor daya, maka kerja mesin akan buruk. Setiap alat-alat listrik biasanya tertera papan nama yang mencantumkan daya yang

dibutuhkan(Putri & Pasaribu, 2018). untuk menghitung daya nyata di rumuskan dengan rumus 2.8 sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad 2.8$$

Dimana :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan 3 Phase (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

b. Daya Reaktif

Daya reaktif (VAR), haruslah serendah mungkin untuk keluaran KW yang sama dalam meminimalkan kebutuhan daya total (VA), Untuk menghitung daya reaktif yang dibutuhkan suatu jaringan listrik dirumuskan dengan rumus 2.14 di bawah ini.(Putri & Pasaribu, 2018)

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad 2.14$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan 3 Phase (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sin \varphi$ = Faktor Daya

c. Daya Semu

Daya semu atau disebut juga dengan daya total (*apparent power*). Daya total tersebut ada yang dihaburkan atau diserap kembali pada rangkaian arus

bolak balik (AC). Daya semu juga merupakan hasil kali dari Tegangan dan Arus dengan satuan VA (*Volt Ampere*). (Meyyasa et al., 2019)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad 2.15$$

Rumus 2.14 merupakan rumus untuk menghitung daya semu Dimana :

S = Daya Aktiv (VA)

V = Tegangan 3 Phase (Volt)

I = Arus (Ampere)

d. Faktor Daya

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu / daya total (VA) atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu, Faktor daya sering disebut dengan cos phi ($\cos \phi$). (Putri & Pasaribu, 2018)

Faktor daya yang rendah atau penurunan faktor daya dapat menimbulkan berbagai kerugian, antara lain :

1. Memperbesar Kebutuhan KVA
2. Penurunan efisiensi Penyaluran daya
3. Memperbesar rugi-rugi panas kawat dan peralatan
4. Mutu Listrik Menjadi rendah karena adanya drop tegangan. (Meyyasa et al., 2019).

Semakin tinggi faktor daya maka efektifitas dari alat-alat listrik akan semakin baik dan sebaliknya semakin rendah faktor daya berdampak pada rendahnya efektifitas dari alat-alat listrik (Putri & Pasaribu, 2018), untuk menghitung faktor daya dirumuskan dengan rumus 2.15 Di bawah ini

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad 2.16$$

Dimana :

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

P = Daya nyata

S = Daya Semu

Faktor daya sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas dari sumber listrik dan kinerja dari alat-alat listrik, Akibat pemakaian KVAR yang tinggi menyebabkan pembentukan sudut faktor daya yang besar.

Hasil dari melebarnya sudut daya tersebut berdampak pada rendahnya nilai faktor daya, kerugian-kerugian terhadap daya listrik dan menurunnya daya kerja efektif dari sumber listrik, Faktor daya yang lebih rendah dari $< 0,99$ atau $0,86$ menurunkan efisiensi kerja alat listrik. Daya kerja (KW) tidak dapat berkerja secara optimal atau sebanding dengan daya yang tersedia. (Putri & Pasaribu, 2018)

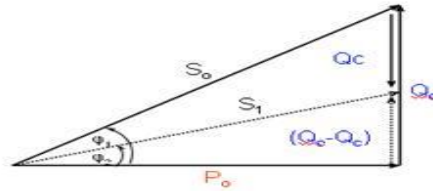
2.3.5 Perbaikan Faktor Daya

a. Kompensasi Daya Reaktif

Kompensasi daya reaktif merupakan suatu cara untuk mengurangi daya reaktif karena daya reaktif tidak berguna sehingga tidak dapat diubah menjadi tenaga, tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban, jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif, otomatis dengan banyaknya peralatan yang bersifat induktif, maka faktor daya yang diperoleh sangat kecil. (Meyyasa et al., 2019)

Optimalisasi pemanfaatan energi listrik yang dapat dilakukan adalah dengan perbaikan jaringan distribusi berupa kompensasi daya reaktif dengan peningkatan faktor daya dengan pemasangan kapasitor bank (*capasitor bank*), Kapasitor yang dipasang paralel pada beban sehingga pengaturan faktor daya dapat dilakukan sehingga pada kompensasi tersebut mengatur arus pada kapasitor dan akan mendapatkan faktor daya yang diinginkan (lebih dari 0,85), Biaya Kelebihan Pemakaian Daya Reaktif dikenakan untuk pemakaian tenaga listrik dengan faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85.(Meyyasa et al., 2019)

Kompensasi daya reaktif dapat dilakukan dengan memperbaiki faktor daya, seperti pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Segitiga Perbaikan Faktor Daya

Gambar 2.4 Menjelaskan Perbaikan faktor daya dilakukan dengan memperbaiki $\cos \varphi 1$ menjadi $\cos \varphi 2$, dengan demikian dapat dihitung besarnya kapasitas kapasitor bank yang akan dipasang Saat Keadaan Awal ($\cos \varphi$). Terdapat Variable P, S_1, Q_1

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} \quad 2.17$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

2. 18

Perbaikan Faktor Daya target adalah $\cos \varphi_2$, Terdapat Variable P, S_2, Q_2

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi} \quad 2. 19$$

$$Q_1 = \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad 2. 20$$

Besarnya kompensasi daya reaktif atau kapasitas kapasitor bank (KVAR) adalah:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2,$$

Dimana :

$$\Delta Q = \text{Kapasitansi Kapasitor (VAR)} \quad 2. 21$$

$$Q_1 = \text{Daya reaktif awal (VAR)}$$

$$Q_2 = \text{Daya reaktif akhir (VAR)}$$

(Meyyasa et al., 2019)

2.4 Standar Kualitas Daya Listrik

2.4.1 Standar Tegangan Dan Frekuensi

Berdasarkan Standar Nasional dari (SNI: 04-0227, 2003) yang menjelaskan tentang standar tegangan dan (SNI 04- 1922-2002) yang menjelaskan tentang standar frekuensi yang menyatakan sebagai berikut :

- 1) Untuk tegangan dibatasi sampai dengan -10% dan +5% dari tegangan nominalnya.
- 2) Frekuensi nominal sistem adalah 50 Hz (SNI 04- 1922-2002).

2.4.2 Standar Ketidakseimbangan Tegangan

Berdasarkan standar (IEEE, 1159 - 2019) menjelaskan tentang rekomendasi untuk memantau kualitas tenaga listrik, yang menyatakan nilai batas ketidakseimbangan Tegangan (*Voltage Imbalance*) waktu keadaan listrik *steady state* adalah 0,5% - 5%.

2.4.3 Standar Harmonisa

Standar harmonisa berdasarkan (IEEE 519-2014) menjelaskan tentang regulasi harmonisa yang menyatakan nilai batasan distorsi harmonisa tegangan dan arus.

Total Harmonic Distortion (THD) diartikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (dapat berupa tegangan atau arus), Sedangkan untuk *Individual Harmonic Distortion* (IHD) merupakan Rasio nilai RMS komponen harmonisa orde tertentu terhadap nilai RMS komponen fundamental.

a. Batasan Distorsi harmonisa Tegangan

Batas nilai yang direkomendasikan harmonisa tegangan akan diaplikasikan sesuai dengan *point of common coupling* (PCC) antara *owner* maupun *users* atau standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai, Dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Limit Distorsi Tegangan Harmonisa

Bus Voltage V at PCC	Individual Harmonics (%)	Total Harmonics Distortion TDH (%)
$V \leq 1,0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0

69 kV < V ≤ 161 kV	1,5	2,5
161 kV < V	1,0	1,5 ^a

b. Batasan Distorsi Harmonisa Arus

Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L , I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal, Batasan nilai yang diizinkan harmonisa arus ini berlaku untuk pengguna yang terhubung ke sistem di mana tegangan pengenal di *point of common coupling* (PCC) berada 120 V hingga 69 kV.

Tabel 2. 2 Batas Maksimum Distorsi Harmonisa Arus

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (<i>odd harmonics</i>) ^{a, b}						
ISC/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	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} = *Max short circuit current* di PCC (*Point of Common Coupling*)

I_L = *Max load current* (arus beban fundamental) di PCC

Catatan:

- 1, Batas maksimum distorsi harmonisa arus genap adalah 25 % dari nilai pada tabel 2 di atas.

2, Angka dalam tabel berlaku untuk bilangan harmonisa (h) kelipatan dari frekuensi 50 Hz.

2.4.4 Standar Ketidakseimbangan beban

Berdasarkan standar (IEEE Std 446, 1996) bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 5–20% maksimal untuk setiap satu fasa.

2.5 Uji Validitas Dan Realibilitas

Validitas berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu instrumen pengukur dalam melakukan fungsi ukurnya, Suatu tes dikatakan memiliki validitas yang tinggi apabila alat tersebut menjalankan fungsi ukur secara tepat atau memberikan hasil ukur yang sesuai dengan maksud dilakukannya pengukuran tersebut, Artinya hasil ukur dari pengukuran tersebut merupakan besaran yang mencerminkan secara tepat fakta atau keadaan sesungguhnya dari apa yang diukur.(Puspasari & Puspita, 2022)

Sedangkan Reliabilitas merupakan tingkatan ketepatan output suatu ukuran, Ukuran yang memiliki reliabilitas yang cukup tinggi, yaitu ukuran yang bisa menampilkan output ukur yang dapat tepercaya (*reliabel*), Reliabilitas adalah salah satu ciri atau object utama instrumen pengukuran yang baik, Namun, terkadang reliabilitas disebut juga sebagai ketepatan, bisa diandalkan, stabilitas, dan sebagainya.(Riyono et al., 2016)

2.5.1 Uji Validitas

Uji Validitas merupakan tingkat ketepatan dan kebenaran suatu alat ukur yang digunakan, Instrumen dikatakan valid menunjukkan alat ukur yang dipergunakan untuk mendapatkan data itu valid atau dapat digunakan untuk

mengukur apa yang seharusnya diukur, Hasil penelitian yang valid bila mempunyai kesamaan antara data yang terkumpul dengan data yang sesungguhnya terjadi pada objek yang diteliti (Prof, Sugiyono, 2007), Untuk menguji ketepatan instrumen penelitian dalam hal ini menggunakan teknik korelasi Pearson product moment, Analisisnya dengan menghitung koefisien korelasi antara masing-masing nilai hasil pengukuran dengan nilai total dari pengukuran tersebut, Selanjutnya, koefisien korelasi yang diperoleh r masih harus diuji signifikansinya bisa menggunakan uji t atau membandingkannya dengan r tabel, Bila t hitung > dari t tabel atau r hitung > dari r tabel, maka nomor pertanyaan tersebut valid, Berikut ini merupakan rumus persamaan teknik korelasi pearson product moment.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] - [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad 2.22$$

Dimana :

r_{xy} = koefisien korelasi

n = jumlah pengukuran

x = pengukuran ke x

y = total seluruh pengukuran

Nilai-nilai r product moment merupakan sebuah tabel angka yang bisa digunakan untuk menguji hasil uji validitas suatu instrumen penelitian,

Tabel 2. 3 Nilai – Nilai r Product Moment

N	Taraf Signif		N	Taraf Signif		N	Taraf Signif	
	5%	1%		5%	1%		5%	1%
3	0,997	0,999	27	0,381	0,487	55	0,266	0,345
4	0,950	0,990	28	0,374	0,478	60	0,254	0,330
5	0,878	0,959	29	0,367	0,470	65	0,244	0,317

6	0,811	0,917	30	0,361	0,463	70	0,235	0,306
7	0,754	0,874	31	0,355	0,456	75	0,227	0,296
8	0,707	0,834	32	0,349	0,449	80	0,220	0,286
9	0,666	0,798	33	0,344	0,442	85	0,213	0,278
10	0,632	0,765	34	0,339	0,436	90	0,207	0,270
11	0,602	0,735	35	0,334	0,430	95	0,202	0,263
12	0,576	0,708	36	0,329	0,424	100	0,195	0,256
13	0,553	0,684	37	0,325	0,418	125	0,176	0,230
14	0,532	0,661	38	0,320	0,413	150	0,159	0,210
15	0,514	0,641	39	0,316	0,408	175	0,148	0,194
16	0,497	0,623	40	0,312	0,403	200	0,138	0,181
17	0,482	0,606	41	0,308	0,398	300	0,113	0,148
18	0,468	0,590	42	0,304	0,393	400	0,098	0,128
19	0,456	0,575	43	0,301	0,389	500	0,088	0,115
20	0,444	0,561	44	0,297	0,384	600	0,080	0,105
21	0,433	0,549	45	0,294	0,380	700	0,074	0,097
22	0,423	0,537	46	0,291	0,376	800	0,070	0,091
23	0,413	0,526	47	0,288	0,372	900	0,065	0,086
24	0,404	0,515	48	0,284	0,368	1000	0,062	0,081
25	0,396	0,505	49	0,281	0,364			
26	0,388	0,496	50	0,279	0,361			

2.5.2 Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas artinya sejauh mana hasil pengukuran dengan menggunakan objek yang sama, akan menghasilkan data yang sama, Uji reliabilitas digunakan untuk mengetahui konsistensi alat ukur, apakah alat pengukur yang digunakan dapat diandalkan dan tetap konsisten jika pengukuran tersebut diulang. (Prof, Sugiyono, 2007)

Ada beberapa metode pengujian reliabilitas salah satunya menggunakan teknik koefisien cronbach,s alfa yang sering digunakan untuk menguji reliabilitas suatu instrumen penelitian, Berikut ini merupakan rumus persamaan untuk mengukur reliabilitas.

$$r_i = \frac{k}{(k-1)} \left[1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right] \quad 2.23$$

Dimana:

r_i = nilai reliabilitas

k = banyaknya pengukuran

$\sum s_i$ = jumlah pengukuran ke i

s_t = total semua pengukuran

Adapun keputusan untuk uji reliabilitas dapat dilakukan secara bersama terhadap seluruh nilai hasil pengukuran, Indikasi dasar pengambilan keputusan dalam uji reliabilitas adalah sebagai berikut:

- 1) Jika nilai r_i maka hasil pengukuran dinyatakan reliabel atau konsisten.
- 2) Jika nilai Cronbach, α < 0,60 maka hasil pengukuran dinyatakan tidak reliabel atau tidak konsisten.

2.6 Penelitian Terkait

Berdasarkan studi tentang analisis kualitas daya listrik pada ruangan atau gedung sudah banyak dilakukan, Beberapa penelitian yang signifikan dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 2. 4 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan tahun penelitian	Pembahasan jurnal
1	Analisis Kualitas Daya	I Putu Meyyasa,	Jurusan Teknik Elektro,	Penelitian ini membahas solusi dari

	Listrik Instalasi Wing Amerta RSUP Sanglah Denpasar	Rukmi Sari Hartati, I,B, Gede Manuaba	Fakultas Teknik Universitas Udayana (2019)	masalah terkait kualitas daya yaitu faktor daya dan solusinya adalah perbaikan faktor daya yang nantinya akan berhubungan dengan efisiensi pengeluaran rumah sakit dalam membayar listrik karena berhubungan dengan kvar karena terdaat biaya konsumsi daya reaktif berlebihan,
2	Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Alat Bengkel	Galuh Setiya Maharani, Deria Pravitasari, Sapto Nisworo	Teknik Elektro, Universitas Tidar Jl,Kapten Suparman No,39 Magelang 56116 (2021)	Membahas tentang perhitungan kualitas daya listrik pada beberapa alat bengkel yaitu bor listrik, gerinda silindris dan bor gantung freedom, dapat disimpulkan bahwa beban memiliki harmonik diatas batas standar 5%, Hal itu tentu saja sangat perlu diperhatikan karena dapat menurunkan kinerja alat dan terjadi kerusakan, Selain itu juga dapat menambah

				biaya yang dikeluarkan untuk PLN, Maka dari itu perlu pemasangan kapasitor bank untuk faktor daya dan filter untuk mereduksi adanya harmonik,
3	Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Gardu Distribusi Universitas Khairun	Ramly Rasyid, Mifta Muhammad	Jurusan Teknik Elektro Universitas Khairun, Ternate, Indonesia(2021)	Membahasa tentang kualitas daya, di terangkan bahwa kualitas daya pada trafo distribusi di Universitas Khairun yang dilihat dari total harmonic distorsi tegangan (THDV), total harmonic distorsi arus (THDi), dan distorsi distorsi faktor daya,
4	Analisis Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa	Irwanto, Riandi	Fakultas Teknik, Universitas Tjut Nyak Dhien (2022)	Membahas tentang harmonisa pada tranformator tiga fasa, dan pengaruh nya terhadap kualitas daya listrik serta hasil dari nilai dari harmonisa nya di perbandingkan dengan standar ieee519-1992,
5	Analisis	Assaffat &	Teknik Elektro,	Membahas tentang

Perbaikan THD Tegangan Listrik Dengan Filter Pasif Studi Kasus Di Finish Mill Tuban IV PT Semen Indonesia (Persero) Tbk	Chandra	Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Semarang (2018)	perbaikan THD dengan pemasangan filter pasif sehingga nilai THD nya tidak melebihi batas yang di tentukan yaitu 5%,
---	---------	---	---

Berdasarkan studi tentang analisis kualitas daya listrik di suatu kondisi ruangan atau gedung yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terkait adalah gedung, alat ukur, parameter pengukuran, dan hasil pengukuran, Pada penelitian ini tempatnya berada di Gedung A rumah sakit umum daerah pandega pangandaran.

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah *Power Quality Analyzer* produk KYORITSU, Untuk parameter pengukurannya meliputi daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), tegangan (V), arus (I), faktor daya ($\cos \phi$), Frekuensi (Hz), harmonisa arus dan harmonisa tegangan.