

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Dari hasil analisis Mukhlis, B (2011) dengan penelitian mengenai evaluasi Penggunaan Energi Listrik di Lingkungan Gedung Universitas Tadulako, terdapat 3 metode untuk mengalasis kualitas daya listrik tersebut yaitu dengan cara observasi langsung, pengukuran luas ruangan dan mendata seluruh jumlah peralatan listrik yang ada pada ruangan – ruangan di gedung tersebut. Dari jumlah objek yang diteliti terdapat 136 ruangan yaitu 72 ruangan memiliki ac dan 64 ruangan tidak memiliki ac. Adapun nilai IKE suatu ruangan yang tergolong boros terdapat 29 ruangan dengan mencapai penghematan Rp 3.704.263,00 dan nilai IKE yang terlalu boros terdapat 65 ruangan dengan mencapai penghematan Rp 8.992.210,00. Dari hasil analisis kualitas daya listrik mencapai tingkat penghematan sebesar Rp 17.686.222,00.

Hadi sugiarto melakukan penelitian terhadap kualitas daya listrik pada Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak dengan judul Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak mendapatkan hasil pengukuran arus, tegangan, daya, faktro daya, frekuensi, THDi dan THDv, juga terdapat pengukuran dan hasil perhitungan rumus pada power loses yang didapatkan dari ketidakseimbangan beban pada setiap fasa R, S, dan T dengan acuan IEEE yang sudah diterapkan.

Dari penelitian Ricky salpiano (2007) tentang kualitas daya listrik dengan judul Audit Energi Listrik di Universitas Dipenorogo Peleburan Semarang dari hasil penelitian terdapat hasil kualitas daya listrik yang efesiensi dengan menggunakan 21 sample pelanggan. Metode yang digunakan menghitung nilai penggunaan energi yang digunakan dari masing – masing ruangan dan menurunkan kapasitas langganan pada beberapa panel dari pelanggan listrik.

Rizkani dan ciptomulyono (2012) melakukan penelitian tentang kualitas daya listrik dengan kajian analisis Audit Energi Listrik di Rumah Sakit Haji

Surabaya dari penelitian ini menggunakan metode MCDM – PROMETHEE mendapatkan hasil bahwa RSUD Haji Surabaya sangat efisien dengan nilai IKE 17.468 kWh/m²/bulan dengan penggunaan daya listrik perpasien yang sudah ditetapkan oleh standart yang berlaku dengan cost perpasien sebesar 29,263 kWh/pasien. Adapun peluang – peluang penghematan daya listrik di RSUD Haji Surabaya tersebut yaitu terdiri dari perubahan SOP fasilitas rumah sakit, penyusunan ulang desain bangunan rumah sakit, pelatihan sumber daya manusia dan penerapan teknologi hemat listrik.

Rusmana , I (2013) melakukan analisis kualitas daya listrik dengan judul skripsi Evaluasi Intensitas Konsumsi Energi Listrik di STTNAS Yogyakarta dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa kualitas daya listrik di STTNAS Yogyakarta dikatakan sangat efisien dengan beban puncak yang terjadi pada jam 11.00 WIB dengan kapasitas kurang lebih 50% dari sambungan daya dari pihak PLN.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Kualitas Daya Listrik

Pengertian kualitas daya listrik dalam arti luas merupakan suatu konsep untuk memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik dari akibat adanya beberapa gangguan yang terjadi dibidang kelistrikan, sedangkan pengertian kualitas daya listrik dalam umum yaitu daya listrik berbentuk penyimpangan arus, tegangan dan frekuensi yang menyebabkan kesalahan operasi pada peralatan-peralatan listrik (Roger C. Dugan, 1996)

2.2.2 Jenis – Jenis Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Adapun jenis – jenis permasalahan pada kualitas daya listrik sendiri yang dikemukakan oleh Roger C. Dugan, 1996 yaitu sebagai berikut ini :

- a. Gejala perubahan tegangan durasi pendek yaitu suatu gejala yang kurang dari satu menit

- b. Gejala perubahan tegangan durasi panjang yaitu suatu gejala yang berdurasi lebih dari satu menit
- c. Gejala perlihan atau juga bisa disebut transient yaitu suatu gejala yang berupa variabel listrik bisa arus, tegangan, daya aktif dan lainnya yang terjadi pada masa transisi dari keadaan operasi menjadi keadaan lain.
- d. Gejala gelombang yaitu menyimpangnya gelombang tegangan dan arus dari gelombang sinusoidalnya
- e. Ketidakseimbangan tegangan yaitu perbedaan tegangan dari sistem tiga fasanya
- f. Gejala frekuensi yaitu penyimpangan gelombang frekuensi pada suatu tenaga listrik
- g. Fluktansi tegangan yaitu adanya perbuahan besaran tegangan secara sistematis.

2.2.3 Besaran – besaran Listrik yang Mempengaruhi Kualitas Daya Listrik

2.2.3.1 Frekuensi

Menurut Hienrich Rudolf Hertz penemu frekuensi yaitu banyaknya jumlah getaran dalam setiap detik, frekuensi yang berlaku diindonesia sebesar 50 Hz. Dengan rumus sebagai berikut ini :

$$f = \frac{1}{T} \quad ; \quad f = \frac{n}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

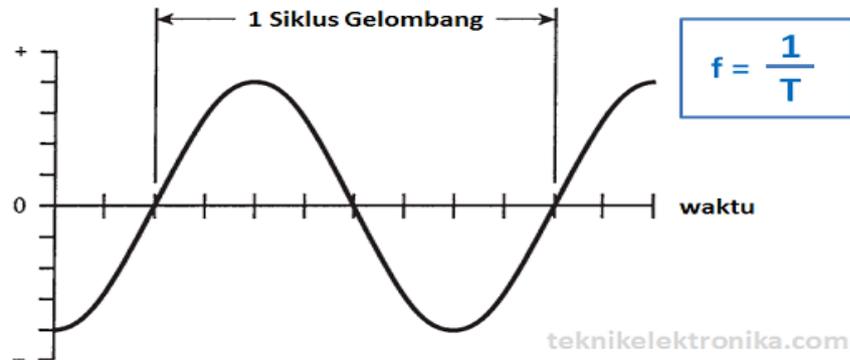
Keterangan

f : Frekuensi

T : Periode (second)

n : Jumlah getaran

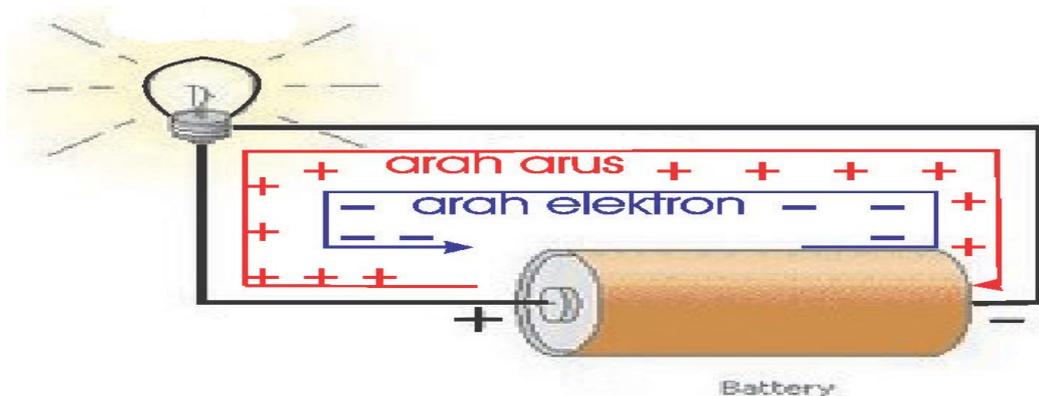
t : Waktu



Gambar 2.1 Frekuensi (<https://teknikelektronika.com/pengertian-frekuensi-cara-menghitung-frekuensi/>)

2.2.3.2 Arus Listrik

Arus listrik terjadi akibat adanya jumlah muatan listrik atau pergerakan elektron – elektron yang mengalir dari suatu titik ke titik yang lainnya dalam satuan waktu.



Gambar 2.2 Arah Arus Listrik

(<https://cahyokrisma.files.wordpress.com/2010/07/arus1.jpg>)

Arus listrik terbagi menjadi dua yaitu

- a. Hambatan listrik yaitu perbandingan antara tegangan listrik dengan suatu komponen elektromagnetik dengan arus listrik yang melaluinya.

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

R : Hambatan (ohm)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

- b. Kuat Arus Listrik yaitu aliran muatan listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah dengan rumus sebagai berikut :

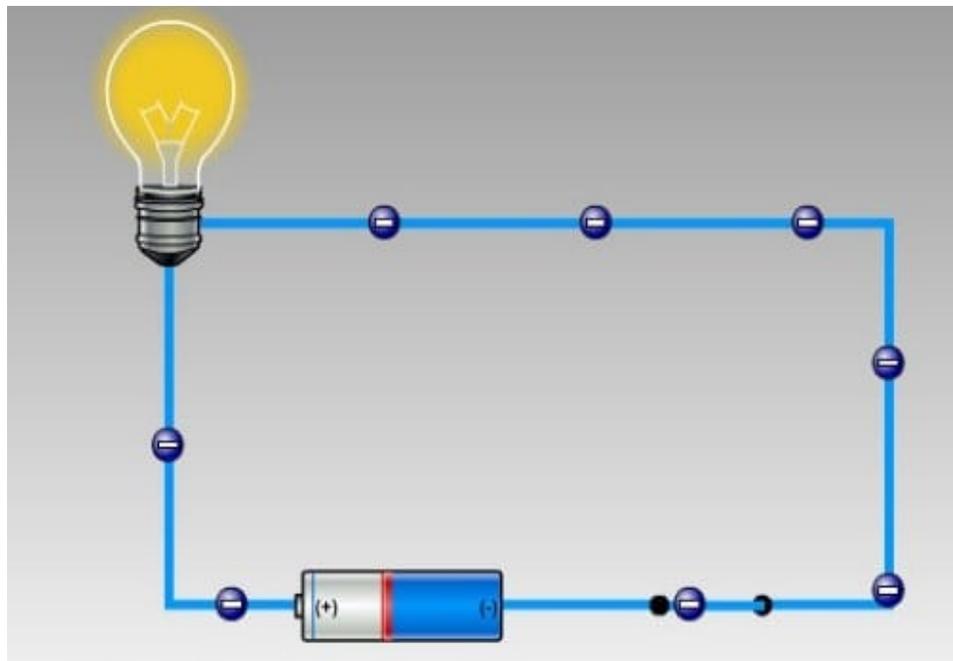
$$I = \frac{q}{t} \text{ atau } q = I \times t \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

I : kuat arus Listrik (ampere)

q : Muatan listrik yang mengalir (coulumb)

t : Waktu (second)

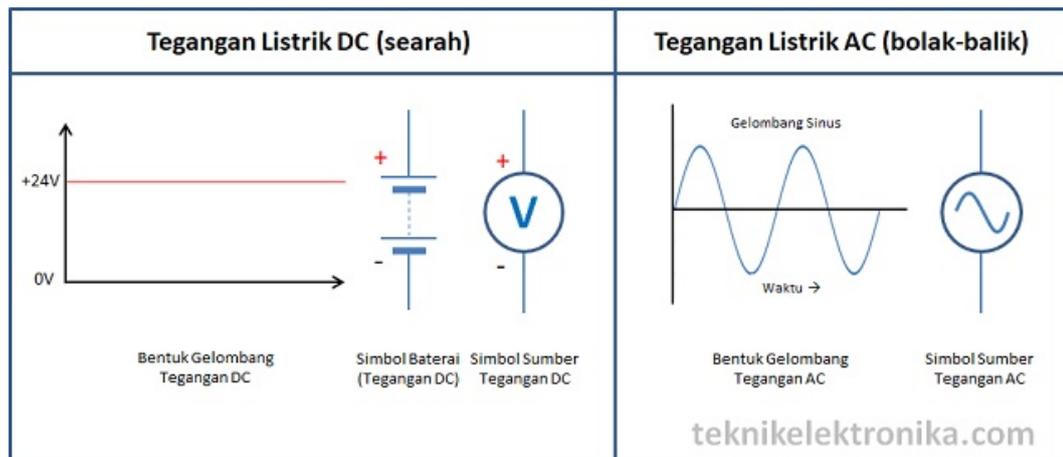


Gambar 2.3 Kuat Arus Listrik

(<https://www.gurupendidikan.co.id/wp-content/uploads/2017/01/percobaan-arus-listrik.jpg>)

2.2.3.3 Tegangan Listrik

Tegangan listrik bisa diartikan sebagai perbedaan potensial listrik antara dua titik pada suatu rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Tegangan listrik terbagi menjadi dua yaitu tegangan AC dan tegangan DC dengan gambar sebagai berikut :



Gambar 2.4 Tegangan AC dan Tegangan DC

(<https://teknikelektronika.com/pengertian-tegangan-listrik-electric-voltage/>)

Dari gambar 2.4 dapat disimpulkan yaitu :

- Tegangan AC yaitu tegangan yang jenis arusnya mengalir secara bolak – balik atau tidak searah dan selalu berubah – ubah.



Gambar 2.5 Gelombang Tegangan AC

(<https://engineeringmasakini.wordpress.com/2017/10/11/pengertian-arus-listrik-ac-dan-dc/>)

- b. Tegangan DC yaitu tegangan yang jenis arusnya mengalir secara searah dan beraturan.



Gambar 2.6 Gelombang Tegangan DC

(<https://engineeringmasakini.wordpress.com/2017/10/11/pengertian-arus-listrik-ac-dan-dc/>)

Tegangan listrik mempunyai rumus sebagai berikut ini yaitu :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

R : Hambatan (ohm)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

2.2.3.4 Daya Listrik

Daya listrik bisa didefinisikan jumlah energi yang diserap dalam suatu rangkaian listrik dengan rumus sebagai berikut ini :

$$P = V \times I ; \quad P = I^2 R ; \quad P = V^2 / R \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

P : Daya listrik (watt)

R : Hambatan (ohm)

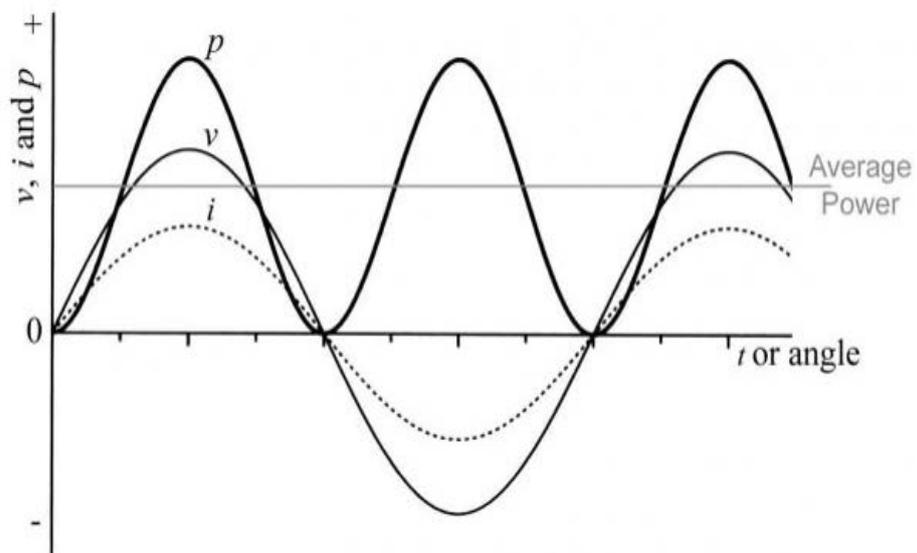
V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

Daya listrik terbagi menjadi tiga bagian yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu, berikut penjelasannya :

- a. Daya Aktif atau daya nyata yaitu daya yang dibutuhkan oleh beban resistif (alat yang menggunakan daya listrik berupa komponen ohm) seperti lampu, heater, rice cooker, solder listrik dan lainnya dengan rumus

$$P = V \times I$$



Gambar 2.7 Gelombang Daya Aktif atau Daya Aktif

- b. Daya reaktif yaitu daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet dikumparan beban induktif (suatu alat yang membutuhkan daya listrik berupa kumparan yang beroperasi secara prinsip kerja induksi) seperti

motor listrik, transformator, mesin las listrik, dan semua alat yang bekerja berdasarkan induksi. Dengan rumus

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

Nilai $\cos \phi < 1$

Sedangkan daya reaktif untuk arus bolak – balik 3 phase (AC 3 current)

$$P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.7)$$

- c. Daya semu yaitu hasil perkalian V_{rms} efektif (tegangan root mean square) dengan I_{rms} efektif (arus root mean square) dengan tegangan RMS adalah nilai tegangan listrik AC yang akan menghasilkan daya listrik yang sama dengan listrik DC ekuivalennya pada beban resistifnya.

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \cos \phi ; \quad V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} ; \quad A = \frac{A_{max}}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Q = V_{rms} \times I_{rms} \sin \phi$$

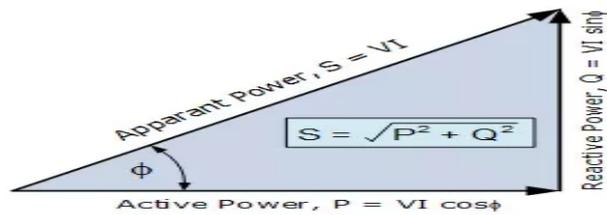
Keterangan :

$\cos \phi$: Besaran sudut grafik sinusoidal listrik AC

P : Daya nyata

Q : Daya Reaktif

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2.8 Segitiga Daya

2.2.3.5 Harmonisa

Harmonisa didefinisikan sebagai gelombang yang terdistorsi secara periodik yaitu pada gelombang arus, tegangan dan daya yang terdiri dari gelombang – gelombang sinus dengan frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi sumbernya sehingga bentuk gelombangnya tidak sinusoidal. Dengan rumus sebagai berikut ini :

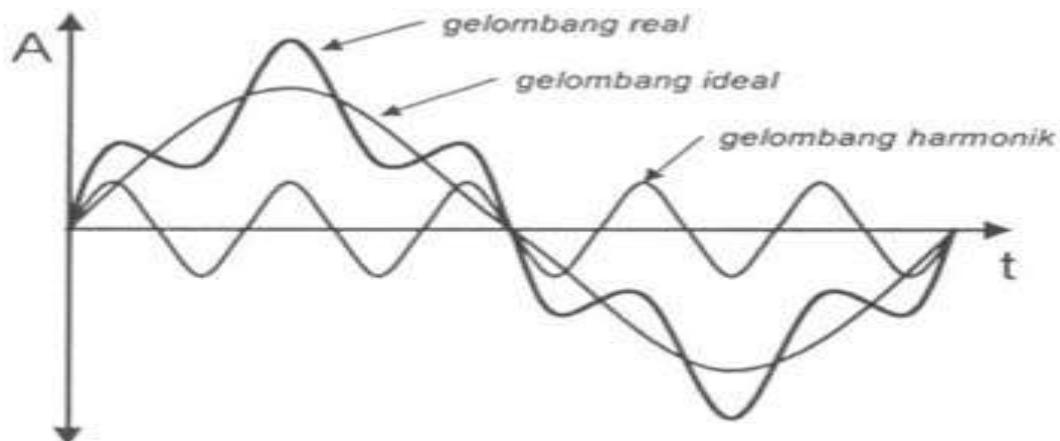
$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

THD_v : Harmonisa tegangan

THD_i : Harmonisa Arus



Gambar 2.9 Gelombang Harmonisa Arus

Adapun macam – macam urutan harmonisa (Sangkanan, 2002) yaitu :

- a. Urutan harmonisa fasa positif yaitu urutan fasanya RST terpisah 120° dengan orde harmonisanya 1, 4, 7, 10, 13 dst

- b. Urutan harmonisa fasa negatif yaitu urutan fasanya RST terpisah 120° dengan orde harmonisanya 2, 5, 8, 11, 14 dst
- c. Urutan Harmonisa nol dengan perbedaan fasa sama dengan 0 dengan orde harmonisanya 3, 6, 9, 12, 15 dst

2.2.3.6 Standar Harmonisa dan IEEE Untuk Harmonisa arus dan tegangan

Dalam standar international adapun batas – batas harmonisa untuk arus dan tegangan untuk menjaga batasan – batasan yang dianggap aman

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus IEE-519 (*Sangkalan, 2002*)

$I_s < I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
$v \leq 69 \text{ kV}$						
<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
$69 \text{ kV} < v \leq 161 \text{ kV}$						
<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	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$v > 161 \text{ kV}$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.5	1.75	1.25	0.45	0.22	3.75

Note: I_{SC} = maximum short-circuit current at PCC; I_L = maximum fundamental frequency demand load current at PCC (average current of the maximum demand for the preceding 12 months); h = individual harmonic order; THD = total harmonic distortion, based on the maximum demand load current. The table applies to odd harmonics; even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits shown above.

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan IEEE-159 (Kennedy, 2000), (Sangkanan, 2002)

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

Note: PCC = point of common coupling; THD = total harmonic distortion.

Tabel 2.3 batasan nilai faktor daya beban non-linier (Azim, Abdul., 2008)

Maksimum true power factor of a non-linear load	
Current THD (%)	Maksimum true pf
20	0.98
50	0.89
100	0.71

Tabel 2.4 Standar IEEE Ketidakseimbangan Beban

No	Parameter	Maksimum
1	Regulasi tegangan keadaan mantab	+5,-10 s/d 10%,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6,-13%
2	Gangguan Tegangan Drop Tegangan sementara tegangan lebih transient	-25% s/d -30% tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20ms +150 s/d 200% tidak lebih dari 0,2ms
3	Distorsi Tegangan Harmonik	3-5% (beban linier)
4	Noise	Tidak ada standar
5	Variasi Frekuensi	50Hz \pm 0,5 Hz sampai 1 Hz
6	Perubahan Frekuensi	Sekitar 1 Hz
7	Ketidakseimbangan Beban	5 s/d 20% mak. Pada setiap fasa
8	Ketidakseimbangan Tegangan 3	2,5% s/d 5%
9	Faktor daya	0,18 sampai dengan 0,9
10	Kapasitas Beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)

2.2.4 Power Losses Akibat Ketidak Seimbangan Beban (rugi – rugi daya)

Untuk menghitung power losses pada setiap fasa maka dibawah ini diberikan contoh pada Fasa R dipanel SDP pusat atau MVDP menggunakan rumus :

$$\Delta P_R = \sum_{k=1}^{25} 0.524 \times I k_R^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk menghitung power losses pada arus netral setiap orde maka dibawah ini diberikan contoh menggunakan data Fasa RST dipanel SDP pusat :

$$I_{N1} = \sqrt{\frac{IR1^2 + IS1^2 + IT1^2 - (IR1 \times IS1) - (IS1 \times IT1) - (IR1 \times IT1)}{2}} \dots\dots\dots(2.13)$$