

BAB II

HARMONISA, BEBAN LINIER DAN NON LINIER

2.1 Harmonisa

Harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi kelipatan (integer) dari frekuensi sumber. Gelombang sinus apabila digabungkan dengan frekuensi sumber akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi (non-sinus) (setiawan, 2007). Distorsi harmonisa diterjemahkan melalui suatu distorsi dari gelombang arus dan tegangan di jaringan yang tidak lagi sinusoidal, hal tersebut akan menyebabkan timbulnya arus, tegangan dan daya harmonik di dalam jaringan yang mengandung beban-beban non linier. Distorsi harmonisa, yang membentuk suatu bentuk distorsi mutu dari pada arus, tegangan, daya jaringan adalah besaran variabel yang berubah-ubah, besaran distorsi tersebut dapat dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD).

2.1.1. Indeks Harmonik

Untuk menganalisa pengaruh harmonisa terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indeks harmonik. Berikut adalah beberapa pengertian dan persamaan yang terdapat dalam analisis harmonik

1. Total Harmonic Distortion (THD)

THD merupakan rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari nilai fundamental dan biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks ini digunakan untuk menyatakan deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa terhadap gelombang sinusoidal murni. Total Distortion Harmonic (THD) tegangan dan arus, yaitu :

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{I_{h2}^2 + I_{h3}^2 + I_{h4}^2 + I_{h5}^2 + \dots}}{I_{h1}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{THD}_V = \frac{\sqrt{V_{h2}^2 + V_{h3}^2 + V_{h4}^2 + V_{h5}^2 + \dots}}{V_{h1}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

THD = Total Harmonic Distortion

I_h = nilai arus harmonik ke-h

V_h = nilai tegangan harmonik ke-h

Sumber : (IEEE Std 519-2014)

Kontribusi masing-masing komponen harmonik terhadap harmonik arus dan tegangan dinyatakan oleh IHD (Individual Harmonic Distortion) merupakan rasio nilai RMS dari harmonik individual terhadap nilai RMS fundamental. Nilai IHD untuk harmonik tegangan dan arus pada periode ke-h didefinisikan sebagai berikut :

$$IH = \frac{H_n}{I_1} \times \text{THD} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk mengetahui nilai IHD untuk harmonik tegangan dan arus pada tegangan tiga fasa di definisikan sebagai berikut :

$$I_{h_a} = \frac{\text{THD}_A \times H_{A1}}{100\%} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I_{h_b} = \frac{\text{THD}_B \times H_{B1}}{100\%} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$I_{h_c} = \frac{\text{THD}_C \times H_{C1}}{100\%} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

HA1 = harmonik arus ke-1 fasa A

HB1 = harmonik arus ke-1 fasa B

HC1 = harmonik arus ke-1 fasa C

THD = *Total Harmonic Distortion*

THD₁ = *Total Harmonic Distortion ke-1*

Sumber : (IEEE std 519-2014)

2. Total Demand Distortion (TDD)

Tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, akan tetapi hal tersebut dapat saja salah saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi, namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak ke sistem tenaga listrik. Beberapa analis mencoba untuk menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini disebut Total Demand Distortion (TDD) dan masuk kedalam standar IEEE 519-1992. Nilai TDD dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$TDD = \frac{\sqrt{I_{h2}^2 + I_{h3}^2 + I_{h4}^2 + I_{h5}^2 + \dots}}{I_L} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

TDD = Total Demand Distortion

I_h = arus harmonik orde ke-h

I_L = arus beban maksimum pada frekuensi dasar pada PCC (Point of Common Couplin)

Sumber : (IEEE 519-1992)

Untuk mengetahui nilai TDD untuk harmonik tegangan dan arus pada tegangan tiga fasa di definisikan sebagai berikut :

$$TDD = \frac{\sqrt{h_a^2 + h_b^2 + h_c^2}}{\text{Peak Demand Current}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

TDD = *Total Demand Distortion*

Ha = harmonik fasa A

Hb = harmonik fasa B

Hc = harmonik fasa C

Sumber : (IEEE Std 519-1992)

2.1.2. Standar Harmonisa

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yang pertama adalah batasan untuk harmonisa arus. Dan yang kedua adalah 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. (Ned Mohan, 1994) (Dermawan et al., 2016).

Menurut (Assaffat Luqman, 1979) tingkat distorsi harmonisa dijelaskan melalui spektrum harmonisa yang lengkap dengan magnitude dan sudut fase masing-masing komponen harmonisa tunggal. Hal ini yang juga umum untuk kuantitas tunggal, Total Harmonic Distortion (THD) atau distorsi total harmonisa, sebagai ukuran nilai efektif dari distorsi harmonisa.

Tabel 1. Standrad Harmonisa Arus (IEEE Std 519, 2014)

Isc/ILOAD	Orde Harmonisa (Dalam %)					Total Demand Distortion
	<11	11-16	17-22	23-24	>35	
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20-50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50-100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100-1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

Untuk mengetahui nilai Isc/IL untuk mengetahui besarnya harmonik dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{I_{sc}}{IL} = \frac{I_{MCB}}{IL} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

Isc : Arus hubung singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*).

I_{LOAD} : Arus beban fundamental nominal.

I_{MCB} : Arus MCB (*Main Circuit Braker*)

Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai seperti tabel 2.

Tabel 2 Standard Harmonisa Tegangan (IEEE Std 519, 2014)

Maximum Distortion (Dalam %)	Tegangan Sistem		
	< 69kV	69-138kV	>138 kV
Individual Harmonic	3	1,5	1
Total Harmonic	5	2,5	1,5

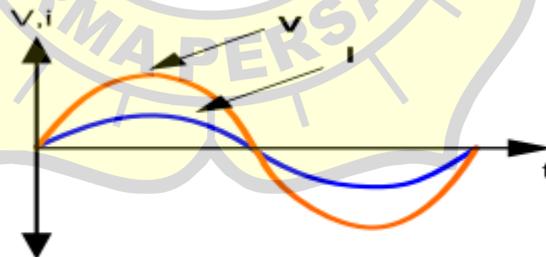
2.1.3. Pengaruh Harmonisa

Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya. Secara khusus, efek atau dampak jangka panjang yang ditimbulkan oleh harmonik pada sistem tenaga listrik sebagai berikut :

1. Pemanasan kapasitor.
2. Tegangan non-sinusoidal yang diterapkan pada mesin listrik dapat meningkatkan rugi inti dan rugi belitan, serta pemanasan lebih.
3. Pemanasan pada kabel dan peralatan lainnya, rugi-rugi kabel yang dilewati oleh arus harmonik akan semakin besar (Afif et al., 2018).

2.2 Beban Linier

Beban linier merupakan beban yang impedansinya selalu konstan sehingga arus selalu sebanding dengan tegangan setiap waktunya. Beban linier mengikuti hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus sebanding dengan tegangan. Gelombang arus beban linier akan sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir ke beban linier juga berbentuk gelombang sinusoidal sehingga tidak terjadi distorsi (Amalia & Nazir, 2015).



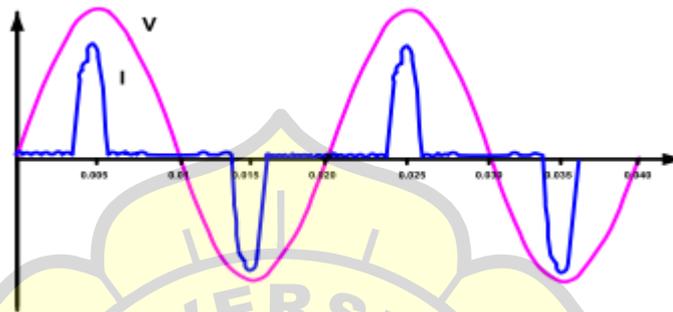
Gambar 2.1 Gelombang Arus dan Tegangan Pada Beban Linier.

(Sumber : F. Suryatmo, 1992)

2.3 Beban Non Linier

Beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengan siklus sehingga bentuk gelombang arus

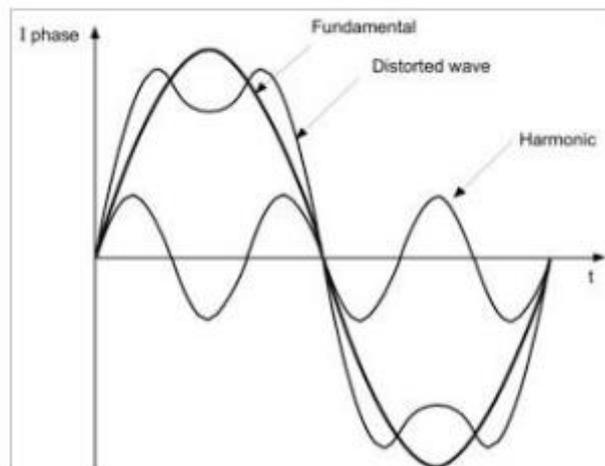
maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban nonlinier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal (Dermawan et al., 2016).



Gambar 2.2 Gelombang Arus dan Tegangan Pada Beban Non linier.
(Sumber : F. Suryatmo, 1992)

Harmonisa akan disebabkan dengan adanya arus beban non-linier yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode akan tegangan masukannya dengan arus yang dihasilkan tidak bisa berbanding lurus dengan tegangan yang diperoleh. Sehingga nanti beban-beban non-linier tidak mematuhi dan mengikuti Hukum Ohm yang menetapkan arus berbanding lurus dengan tegangan yang di hasilkan (Merta et al., 2017).

Sebagai contoh frekuensi dasar dari sistem kelistrikan di Indonesia adalah 50 Hz, maka urutan harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Gelombang harmonisa ini akan berkombinasi dengan gelombang dasarnya, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang dasar dengan gelombang harmoniknya seperti pada gambar 2.4.

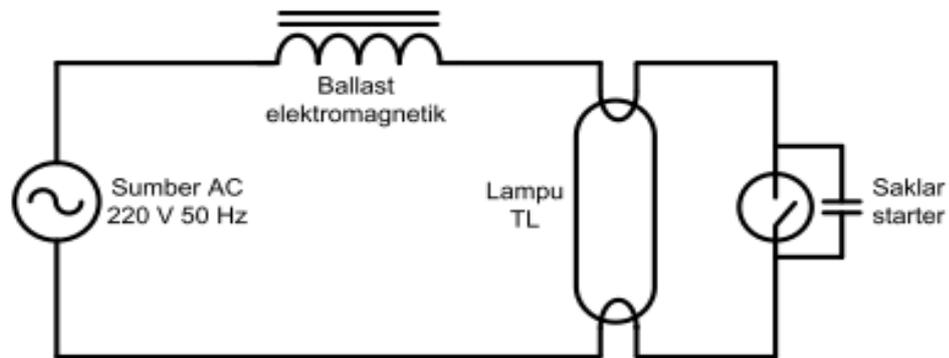


Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Terdistorsi (Sumber : F. Suryatmo, 1992)

Beberapa contoh beban non linier untuk keperluan rumah tangga dan industri adalah :

1. Lampu fluorescent (TL)

Lampu fluorescent bekerja berdasarkan pelepasan elektron secara terus menerus di dalam uap yang diionisasi yang dikombinasikan dengan fosfor yang dapat berpendar. Gas yang dipakai adalah merkuri atau natrium. Lampu fluorescent yang juga umum disebut lampu TL (tube lamp) biasanya dilengkapi dengan ballast dan starter yang fungsinya untuk membatasi aliran arus dan menyediakan tegangan transien yang sesuai untuk penyalan katoda untuk proses ionisasi. Ballast dilihat dari prinsip kerjanya ada dua jenis yaitu ballast elektromagnetik dan ballast elektronik. Ballast elektromagnetik bekerja atas dasar prinsip elektromagnetik dengan frekuensi kerja sama dengan frekuensi sumber listrik (50/60 Hz). Ballast elektronik umumnya bekerja dengan prinsip resonant inverter yang dilakukan dengan proses pensaklaran pada frekuensi tinggi (Permana, 2014). Menurut (Supriono & I Nyoman Wahyu Satiawan, 2005) ballast elektronik bekerja dengan prinsip resonant inverter yang dilakukan dengan proses switching pada frekwensi tinggi. Tegangan transien dari resonant inverter tergantung pada komponen bejana resonansi (L dan C) sehingga tegangan transien dapat menjadi lebih besar dari tegangan sumber.



Gambar 2.4 Lampu TL dengan ballast (Permana, 2014)

2. Motor Induksi Tiga Fasa

Pengaruh tegangan sumber dan beban terhadap harmonisa pada motor induksi tiga fasa yaitu :

- a) Tegangan sumber yang diberikan pada suatu motor induksi tiga fasa, cenderung mempengaruhi besarnya THD tegangan dan THD arus yang dihasilkan. Semakin besar tegangan yang diberikan motor induksi tiga fasa, maka semakin turun THDnya (Zondra et al., 2017).
- b) Motor induksi tiga fasa yang beroperasi pada kondisi harmonisa maka medan magnet stator akan membangkitkan medan harmonik yang berotasi menghasilkan mmf yang berotasi dua arah (*forward* dan *backward*).
- c) Timbulnya harmonik yang bersamaan dengan torsi fundamental menghasilkan getaran (*vibration*) dan kebisingan yang pengaruhnya cukup besar pada operasi motor induksi tiga fasa (Bukit, 2017).